



# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

## **Fakulta strojní**

**Studijní program M 2301 - Strojní inženýrství**



**Studijní obor: 2302T010 Konstrukce strojů a zařízení**

**Zaměření: Sklářské a keramické stroje**

**Zařízení pro lokalizaci skla na odnímacím místě linky při  
robotizované manipulaci**

**(Equipment for localization of glass on the removable part of assembly line  
during the robotized manipulation)**

**KSR – 19561**

**František ERBERT**

**Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. František Novotný, CSc.**

**Konzultant diplomové práce: Pavel Vaněk – technický pracovník engineeringu AGC Automotive Czech a. s.,  
Chudeřice**

**Rozsah diplomové práce:**

Počet stran:	60
Počet tabulek:	3
Počet obrázků:	35
Počet výkresů:	10
Počet příloh:	0
Počet modelů:	0

**Datum odevzdání: 5. 1. 2010**



## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**TÉMA:**           **Zařízení pro lokalizaci skla na odnímacím místě linky při robotizované manipulaci**

### **Anotace:**

Práce předkládá návrh robotizované manipulace s přířezy skla. Ukazuje možnosti využití bezkolizního pozicování přířezů skel za pomoci kamerového systému na lince a řeší robotizovanou manipulaci CNC řezací linky Bystronic 4 ve společnosti AGC Automotive Czech a.s.. První část je věnována rozboru výchozí situace s důrazem na formulaci technických podmínek a restrikcí návrhu robotizovaného pracoviště. Dále je předloženo variantní řešení layoutu a vybraná nejvhodnější varianta je podrobně rozpracována do konstrukčního řešení. Další část předkládá konstrukční řešení rámu pro CCD kameru, rámu zavěšeného robotu, pásového dopravníku a úchopné hlavice, která umožní manipulaci celým sortimentem skleněných přířezů. Konstrukční řešení komponentů vybrané varianty je součástí výkresové dokumentace. V předposlední části je navržen kamerový systém a vyřešena vazba výstupu kamerového systému snímání na software robotu včetně návrhu řídicího systému manipulace. V závěrečné části práce je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení navrženého layoutu.

### **KLÍČOVÁ SLOVA:**

Robotická manipulace, rám, pásový dopravník, úchopná hlavice

**THEME:**           **Equipment for localization of glass on the removable part of assembly line during the robotized manipulation**

### **Annotation:**

This diploma thesis proposes a concept of robotic manipulation with glass tabel. It is showing the potential for using non-collision position glass table with the aid of vision system on the assembly line, and resolving robotic manipulation CNC cutting line Bystronic 4 in AGC Automotive Czech company. The first part of the thesis is focused mainly on the analysis of the current situation, emphasizing the definition of technical parameters and restriction propositions of the robotic manipulation workplace. Next part proposes a variant layout solution, also the selected most suitable variant is closely resolved in the technical solution. Following part presents the construction analysis for the frame of CCD camera, frame of robot, belt conveyor and flexible grip, which enables manipulation with the whole range of glass. Construction analysis of selected components is a part of drawing documentation. Close to the end is designed vision system and resolved the linkage of vision system output to the software of robot. The final part evaluates technical and economical aspects of final layout.

### **KEY WOLDS:**

Robotic manipulation, frame, belt conveyor, flexible grip



## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce, či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 5.1.2010

Podpis:



## Poděkování

Děkuji panu **Doc. Ing. Františku Novotnému, CSc.**, vedoucímu Katedry sklářských strojů a robotiky Technické univerzity v Liberci za odborné vedení, cenné připomínky a trpělivost v průběhu řešení této diplomové práce.

Děkuji také své rodině za veškerou podporu během celého studia.

František ERBERT



## OBSAH:

Úvod.....	8
<b>1. Rozbor stávajícího stavu.....</b>	<b>9</b>
1.1 Popis současného stavu.....	9
1.2 Popis pracovního cyklu manipulace a sortimentů přířezů skla.....	11
1.3 Parametry CNC řezací linky .....	12
1.4 Pohybová periferie s paletou .....	13
1.5 Stanovení technických podmínek k řešení .....	14
<b>2. Alternativní návrh nové koncepce odnímacího zařízení .....</b>	<b>16</b>
2.1 Varianty koncepčního řešení .....	16
2.1.1 Varianta A.....	17
2.1.2 Varianta B.....	19
2.1.3 Varianta C.....	23
2.1.4 Varianta D.....	24
2.1.5 Výběr varianty pro konstrukční řešení .....	28
2.2 Přehled výkresové dokumentace.....	30
2.3 Základní uspořádání linky – layout, vybraná Varianta C .....	31
2.4 Časová dispozice robotu .....	32
<b>3. Konstrukční řešení odnímacího zařízení robot vision.....</b>	<b>33</b>
3.1 Návrh pásového dopravníku.....	33
3.2 Návrh úchopné hlavice s přísavkami .....	34
3.2.1 Výpočet podtlakové úchopné hlavice .....	35
3.3 Rám pro CCD kameru varianty A, B.....	40
3.4 Rám pro zavěšení robotu, vybraná varianta C .....	41
3.5 Návrh pohybové periferie s paletou včetně SW řízením.....	42
3.6 Kamerový systém a softwarové vazby na řídicí systém .....	44
3.6.1 Analýza problematiky řízení .....	44
3.6.2 Systémy průmyslového zpracování obrazu.....	46
3.6.3 Význam optiky ve strojovém vidění .....	46
3.6.4 Význam osvětlení ve strojovém vidění .....	47
3.6.5 Spojení kamerových a robotických systémů .....	47
3.7 Kamerový systém Keyence CV-2100 .....	48



3.7.1	Popis systému .....	48
3.7.2	Funkce kamerového systému CV-2100 .....	49
3.7.3	Statistika .....	50
3.7.4	Vstupně výstupní rozhraní .....	51
3.8	Kriteria volby průmyslové kamery .....	51
3.9	Volba vhodného nasvícení snímané scény .....	53
3.10	Sjednocení souřadnic robotu a obrazu .....	53
3.11	Popis vytvořeného inspekčního procesu .....	54
3.12	Popis části inspekční aplikace pro vyhledávání souřadnic .....	54
3.13	Popis části inspekční aplikace pro konverzi souřadnic .....	55
3.14	Popis části inspekční aplikace pro komunikaci s PLC .....	55
3.15	Popis funkce kompletního programu .....	57
<b>4.</b>	<b>Zhodnocení přínosů práce .....</b>	<b>58</b>
4.1	Technické hodnocení .....	58
4.2	Ekonomické hodnocení .....	58
<b>Závěr</b>	<b>.....</b>	<b>60</b>
	Seznam použité literatury .....	61



## Seznam zkratek a symbolů

<i>Označení</i>	<i>Jednotky</i>	<i>Název veličiny</i>
Cn	Kč	celkové jednorázové náklady na realizaci
Cuv	Kč	uspořené výdaje
d	mm	průměr přísavky
d <sub>w</sub>	mm	účinný průměr přísavek
f	-	koefficient tření
F <sub>ax</sub>	N	axiální zatížení
F <sub>rad</sub>	N	radiální zatížení
F <sub>uz</sub>	N	nutná úchopná síla přísavek
F <sub>U</sub>	N	úchopná síla na jednu přísavku
g	m.s <sup>-2</sup>	gravitační zrychlení
k	-	součinitel bezpečnosti
m	kg	hmotnost
n	-	počet přísavek
$\Delta p_u$	kPa	provozní vakuum
O	N	odstředivá síla
P	-	celkový počet pracovníků
Pp	-	počet pracovníků na jednu směnu
Rm	Kč	roční mzdové náklady
R	mm	poloměr
T	N	zrychlující síla
t	s	čas
S <sub>w</sub>	mm <sup>2</sup>	plocha přísavek
Zc	Kč	mzdové náklady pro celé pracoviště
$\alpha$	°	úhel otočení
$\beta$	°	úhel natočení
$\gamma$	°	úhel rozběhu a doběhu
$\varepsilon$	s <sup>-2</sup>	zrychlení
$\omega$	s <sup>-1</sup>	úhlová rychlost
$\mu$	-	součinitel tření objekt - přísavka



## Úvod

Diplomová práce se zabývá automatickou manipulací s přířezy skla na konci CNC řezací linky Bystronic 4 ve společnosti AGC Automotive Czech a.s.

V současnosti se pozicování na lince před jeho odnímáním robotem realizuje mechanickými dorazy. Poloha dorazů se seřizuje ručně prostřednictvím operátora pro každý sortiment zvlášť, tento způsob je proto nevýhodný a často je zdrojem rizik poškození skla při nepřesném nastavení mechanických dorazů operátorem.

Hlavním cílem je vytvořit bezkolizní pozicování přířezů skla a tím nahradit doposud používané mechanické dorazy.

Diplomová práce je rozdělena do čtyř kapitol. První kapitola je věnována rozboru výchozí situace s důrazem na omezení týkající se návrhu robotizovaného pracoviště, rozboru sortimentu a časových vazeb. V kapitole jsou dále uvedeny výchozí podmínky k řešení.

Ve druhé kapitole jsou stanoveny různé možnosti layoutu a je vybrána nejvhodnější varianta, která je podrobně rozpracována.

Ve třetí kapitole práce je předloženo řešení pásového dopravníku, rámu pro CCD kameru, rámu pro zavěšení robotu a je zde navržena úchopná hlavice, která umožní manipulaci s celým sortimentem skleněných přířezů. Konstrukční řešení úchopné hlavice a rámu vybrané varianty je rozpracováno formou dílčí výkresové dokumentace. Kapitola dále obsahuje návrh kamerového systému a je zde vyřešena vazba výstupu kamerového systému snímání na software robotu, včetně návrhu řídicího systému kompletní manipulace.

V poslední kapitole je provedeno technicko–ekonomické zhodnocení navrženého layoutu.



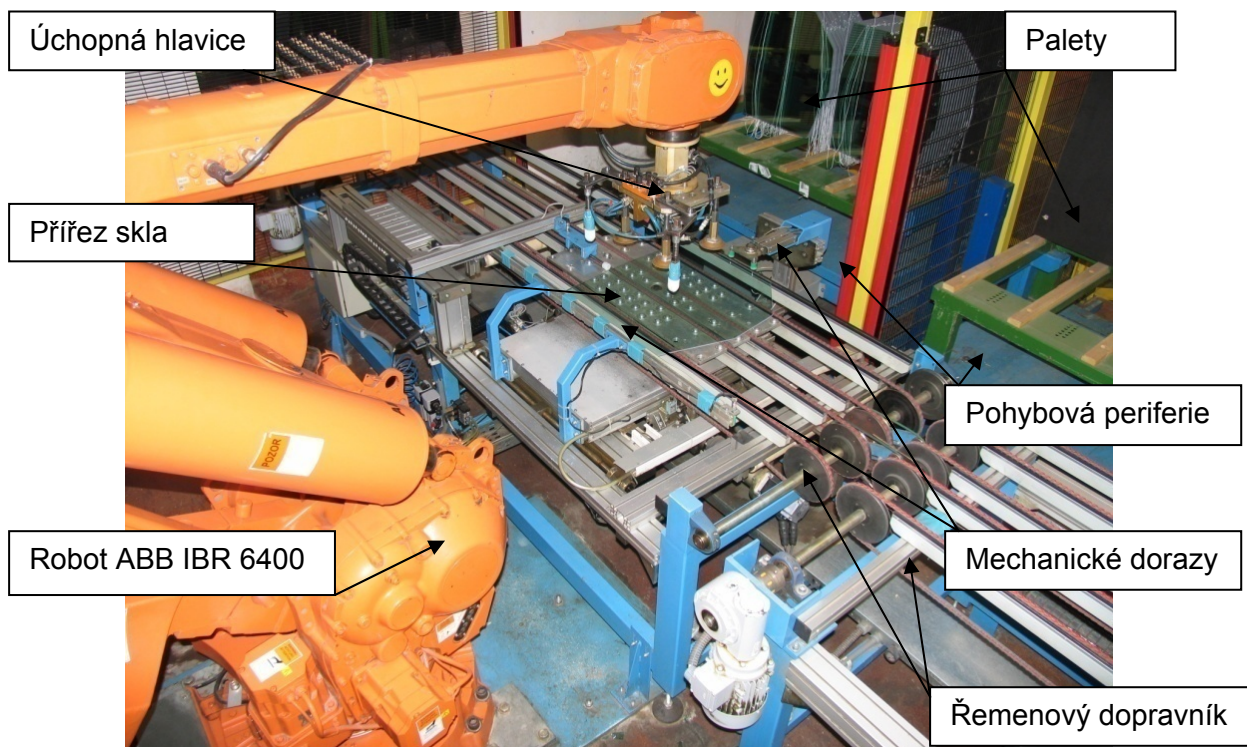


## 1. Rozbor stávajícího stavu

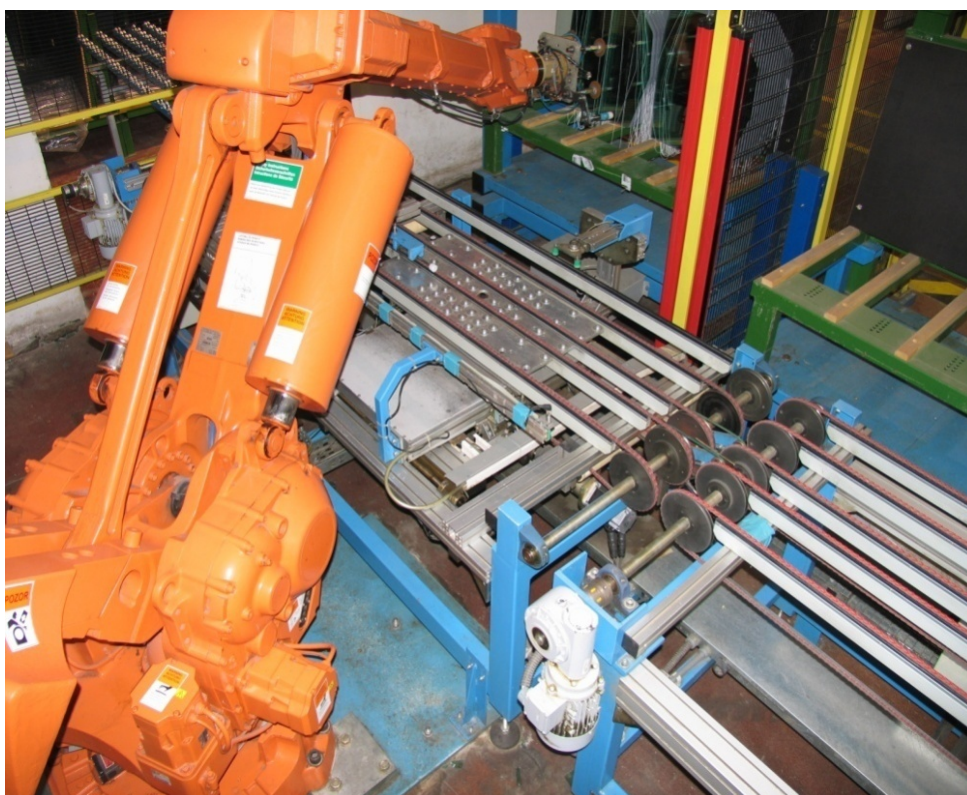
První kapitola je věnována rozboru stávajícího stavu a všeobecným popisem stávajícího stavu na konci CNC řezací linky Bystronic 4, sortimentem a technickými podmínkami řešení.

### 1.1 Popis současného stavu

V současné době je ustavování přířezu skla v souladu s *obr. 1.1* a *obr. 1.2* před robotizovaným odkládáním skel realizováno mechanickými dorazy. Jedná se o pneumatické válce, na kterých jsou upevněny duralové profily, zajišťující přesnou polohu. Přířez pozicovaného skla se pomocí profilů a za pomoci tlaku, kterým působí pneumatické válce, vyrovná do požadované polohy tak, aby bylo možné robotem přířez skla v této poloze uchopit a s maximální přesností ho přenést do palety, umístěné na pohyblivé periférii. Popsané mechanické dorazy je nutné přestavit pro každý nový výrobek, přitom dotykový způsob ustavování je rovněž jedním z rizik poškození skel. Vznikají zde praskliny a trhlinky na těchto velice přesně nařezaných sklech. Škoda je o to vyšší, že se jedná o automobilové sklo s nejvyšší kvalitou ze všech skel dodávaných od firmy AGC. V současné době je mechanické polohování skla na lince poměrně složité a vyžaduje přesné nastavení rozsáhlého systému dat ze strany operátora pro každý vyráběný model automobilu. Podle současného technického řešení nelze zaručit, že každý operátor odladí pozicování skel předepsaným způsobem pro jednotlivé modely. Proto je nutné mechanický způsob pozicování skel nahradit bezdotykovým snímáním skla na lince a to za použití CCD kamery. Kamerový systém linky zcela nahradí mechanické dorazy a zajistí riziko poškození přířezů skel. Sejmутí obrazu je rychlejší, než kalibrace pro daný sortiment a lze s ním provádět měření skel na lince včetně kalibrace systému kamera – robot. V původní koncepci pracoviště, je navržena úchopná hlavice se čtyřmi přísavkami, která bude v průběhu řešení diplomové práce upravena. Řemenový dopravník bude nutné v průběhu řešení vyměnit za pásový. Pracovní prostor robotu je z důvodu bezpečnosti oplocen a chráněn proti náhodnému kontaktu s operátory linky. Z přední části, kde probíhá manipulace s paletami za pomoci vysokozdvížného vozíku jsou nainstalovány bezpečnostní optické závory, které zabraňují k předčasnému odejmutí palety z pohybové periferie.



Obr. 1.1 Současný stav pozicování



Obr. 1.2 Manipulace s přířezem skla po ustavení mechanickými dorazy



## 1.2 Popis pracovního cyklu manipulace a sortimentů přířezů skla

Přířezy skla určené na výrobu bočních automobilových skel, projdou procesem na CNC řezací lince Bystronic 4, která je určena pro řezání a vyznačuje se vysokou přesností, spolehlivostí a vysokým komfortem obsluhy. Optimálně sladěné komponenty zařízení umožňují kontinuální a vysoce efektivní výrobní proces od uložení a zakládání skel přes řezání až po automatické odkládání přířezů do palet. Firma Bystronic glass vyvinula kompletní systémové řešení pro efektivní výrobu automobilového skla. Výrobní linka, která byla vyrobena pro dodávaný sortiment bočních skel a navržena dle požadavků firmy AGC Automotive, se vyznačuje vysokou produktivitou a optimální disponibilitou systému. Boční skla na lince procházejí nejprve procesem řezání a lámání. Šetrné řezání a lámání probíhá s automatickou úpravou podle obrysu skla a jedinečnou přesností opakování. Další procesní operací je broušení. Broušení zahrnuje precizní proces, který splňuje veškeré požadavky na automobilová skla. Poslední operací před vlastní robotizovanou manipulací je mytí a horkovzdušné sušení povrchu.

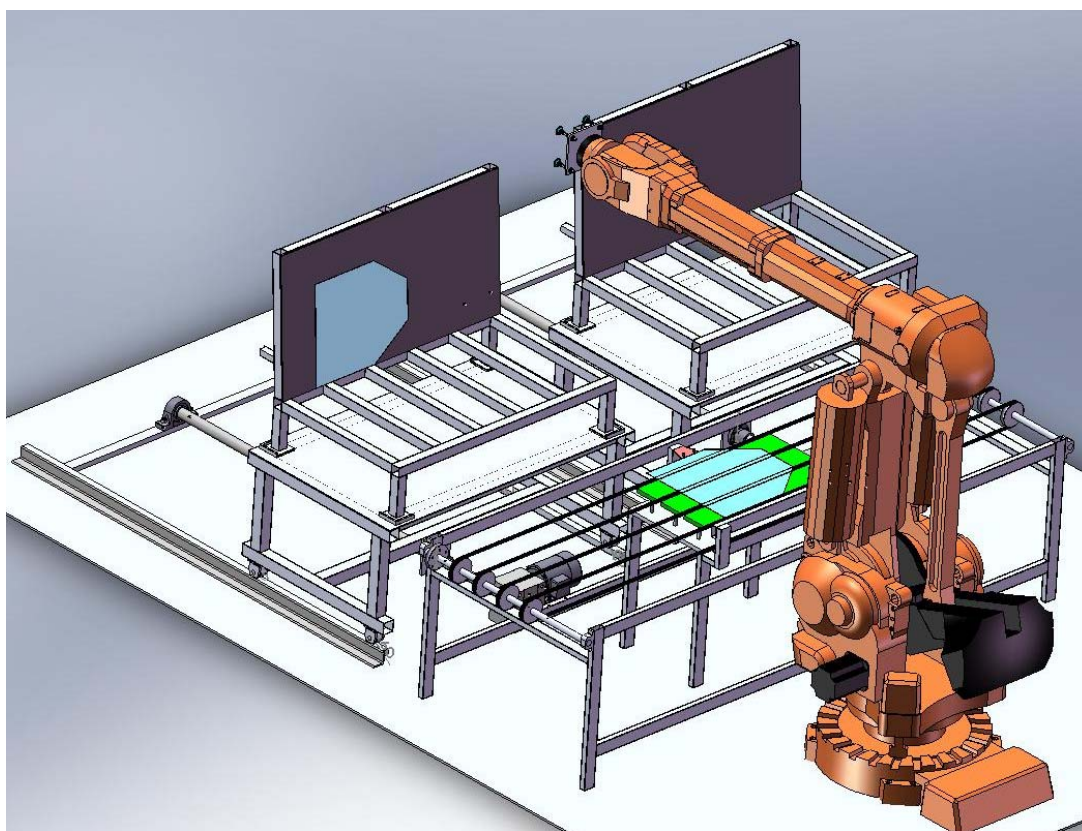
V konečné procesní operaci jsou z linky robotem přeneseny přířezy skel do připravených palet, které jsou uloženy na pohyblivé periférii. Na lince je instalován šestiosý průmyslový robot firmy ABB - typ IRB 6400, který umožňuje realizovat krátké časové cykly, rychlé změny přestavení a vysoký pracovní výkon. Robot obsahuje funkci QuickMove, která zaručuje nejvyšší zrychlení, dráhovou přesnost a stejnoměrnou rychlost v celém pracovním prostoru. Je schopen zajistit vysokou pracovní flexibilitu a s přihlédnutím k vysoké tuhosti má předpoklady pro práci s vysokou opakovatelnou přesností.

Maximální rozměry přířezu skla (tj. jeho výška a šířka), které mohou být na lince dopravníkem manipulovány, jsou omezeny velikostí myčky, která má šířku 1000 mm. Doposud nejvyšší sklo, které bylo dopravníkem manipulováno, má výšku 667mm, širší přířezy skla, než 667mm, nebyly doposud v AGC Automotive Czech vyráběny. Vzhledem k tomu, že se jedná o boční skla, je vysoce pravděpodobné, že širší přířezy nebudou v nejbližší době požadovány.



### 1.3 Parametry CNC řezací linky

Konec linky, kde probíhá manipulace s přířezy, byl nakreslen v CAD systému SolidWorks. Z *obr. 1. 3* je patrné, že pracoviště obsahuje robot ABB – IBR6400, který na lince v současně době přířezy skel manipuluje, řemenový dopravník, dvě palety, které jsou umístěny na pohyblivé periférii a úchopná hlavice. Původní layout byl zakreslen podle výkresové dokumentace dodané firmou AGC Automotive a výkres se skutečnými rozměry původního uspořádání je přiložen ve výkresové dokumentaci. *Obr. 1.3* zobrazuje, že sklo je přesunuto pomocí řemenového dopravníku na odnímací místo, kde se řemenový dopravník zastaví. Následně je sklo vyzvednuto pomocí pneumatických válců, které jsou přimontovány na kovové desky nad řemeny a dorazem je zvednuté sklo přitlačeno na rovinu úhelníku. Takto polohovaný přířez skla se robotem přenese do palety. Popsaný proces se opakuje, dokud není paleta naplněna. Následně za pomoci pohybové periferie paleta vyjede a manipulace skla se poté realizuje do druhé palety. Vyjetí palety je světelně i akusticky signalizováno operátorům linky, kteří naplněnou paletu transportují za pomoci vysokozdvížného vozíku k dalším operacím a vloží paletu prázdnou.



*Obr. 1.3* Současný layout konce linky Bystronic 4

## 1.4 Pohybová periferie s paletou

Paleta, do které robot ABB - IBR6400 přířezy skla ukládá, má šířku 1660 mm, přířezy skel se do palety rovnají ve dvou řadách. Na *obr. 1.4* a *obr. 1.5* je zobrazena paleta, do které se přířezy ukládají. Paleta je svařovaná konstrukce z dutých profilů, s obdélníkovým průřezem. Na paletě jsou přimontována dřevěná ohoblovaná prkna, která zabraňují styku přířezu skla s kovovou částí stojanu a eliminují riziko poškození manipulovaného přířezu skla. Zadní část palety, která slouží pro opření manipulovaných přířezů, je obložena dřevotřískovou deskou, která zabraňuje propadnutí manipulovaných přířezů.



Obr. 1.4 Paleta



Obr. 1.5 Paleta

Pohybová periferie je umístěna na vodících lištách. Operace vysunutí pohybové periferie je patrná z *obr. 1.6*. Systém je nastaven tak, že se posouvá ve vazbě na proces manipulace přířezů robotem. Vždy, když je sklo robotem do palety založeno, periferie se automaticky přesune o tloušťku manipulovaného přířezu. Po naplnění palety je prováděn její transport pomocí vysokozdvizného vozíku. Když optický snímač zjistí, že paleta je naplněna, linka nemusí zastavovat, ale proces manipulace pokračuje dále do druhé připravené palety, přitom je systém hlídán optickou závorou, která chrání obsluhu a brání předčasně manipulaci s ne zcela naplněnou paletou.



Obr. 1.6 Zadní pohled na celý stojan



Obr. 1.7 Detail vodící lišty stojanu

## 1.5 Stanovení technických podmínek k řešení

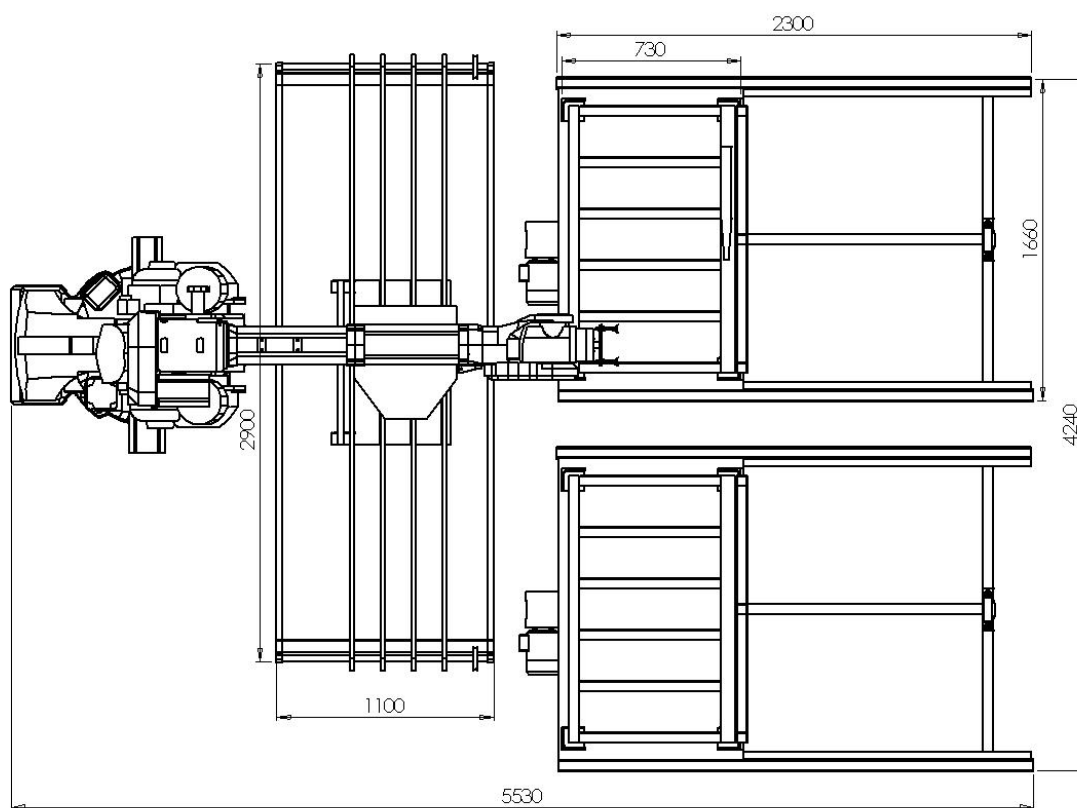
Doba taktu CNC řezací linky Bystronic 4 je 8 s. Za tuto dobu, musí být přířez skla ustaven do požadované polohy tak, aby byl robot schopen přířez skla nejen uchopit, ale realizovat celý proces manipulace, včetně odsunutí dorazů. Dorazy se odsunují automaticky v době, kdy robot sklo zakládá do připravené palety.

Požadavek firmy AGC Automotive je zachování současné kadence na lince, což je uvedených 8 s na každý přířez skla. Dále odstranění mechanických dorazů, které přířezy skla pozicují, ale zároveň poškozují. Je požadavek na bezdotykové pozicování přířezů skel za pomoci CCD kamery. Bezdotykový způsob ustavování je vhodné řešit variantně, s následnou optimalizací řešení pro vybranou variantu.

Výstupní konec CNC řezací linky Bystronic 4 je podle technické dokumentace, dodané firmy AGC Automotive dlouhý 4240 mm a široký 5530 mm včetně zasunuté výstupní periferie. Prostor pro manipulaci se stojanem pomocí vysoko zdvižného vozíku je 7000 mm široký a 4700 mm dlouhý. Stojan na odkládání přířezů skel je 1650 mm široký a 2300 mm dlouhý. Lišty, po kterých stojan horizontálně popojíždí, měří 2300 mm. Řemenový dopravník, který má rozměry 1100 mm široký a 2900 mm dlouhý.



Požadavek na nové pracoviště v odnímacím místě linky, je jeho minimalizace a tím ušetření prostoru.



Obr. 1.7 Pracovní prostor na konci linky Bystronic 4

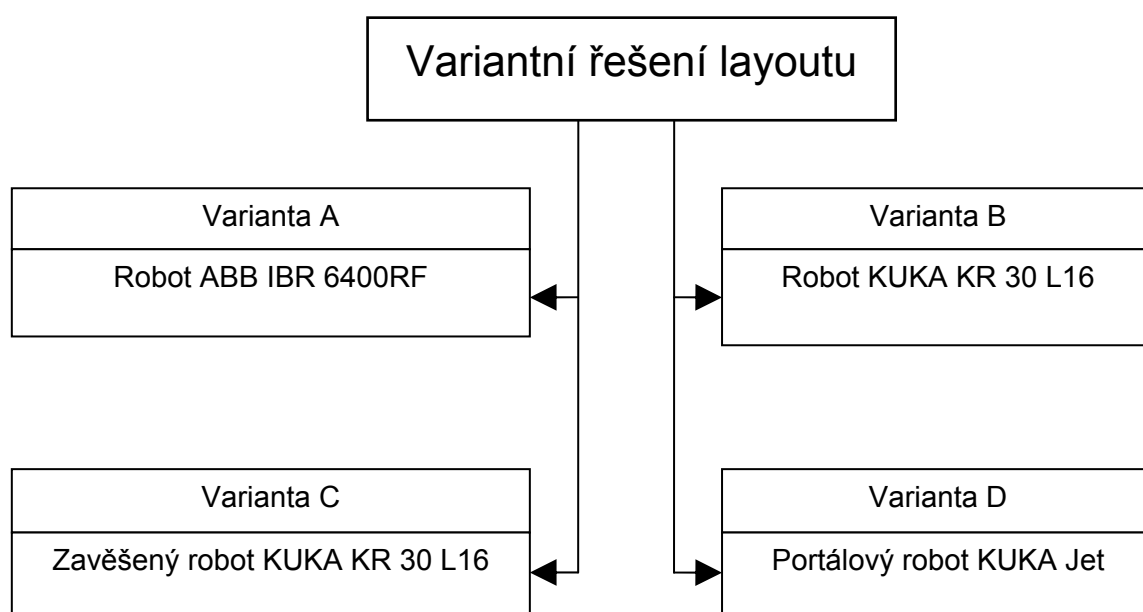


## 2. Alternativní návrh nové koncepce odnímacího zařízení

Tato kapitola se věnuje nalezení koncepčního řešení pracoviště zajišťujícího manipulaci s přířezy skla a je doplněna podrobným rozbořem finálního layoutu.

### 2.1 Varianty koncepčního řešení

Jako alternativní řešení byly uvažovány 4 varianty robotizovaného pracoviště zajišťujícího manipulaci s bočními autoskly na konci linky Bystronic 4, které jsou přehledně shrnuty v *obr. 2.1*. Všechny varianty byly navrženy s ohledem na omezený pracovní prostor a dosažení požadovaného taktu linky 8 sekund manipulace jednoho autoskla.



*Obr. 2.1* Přehled variantního řešení layoutu

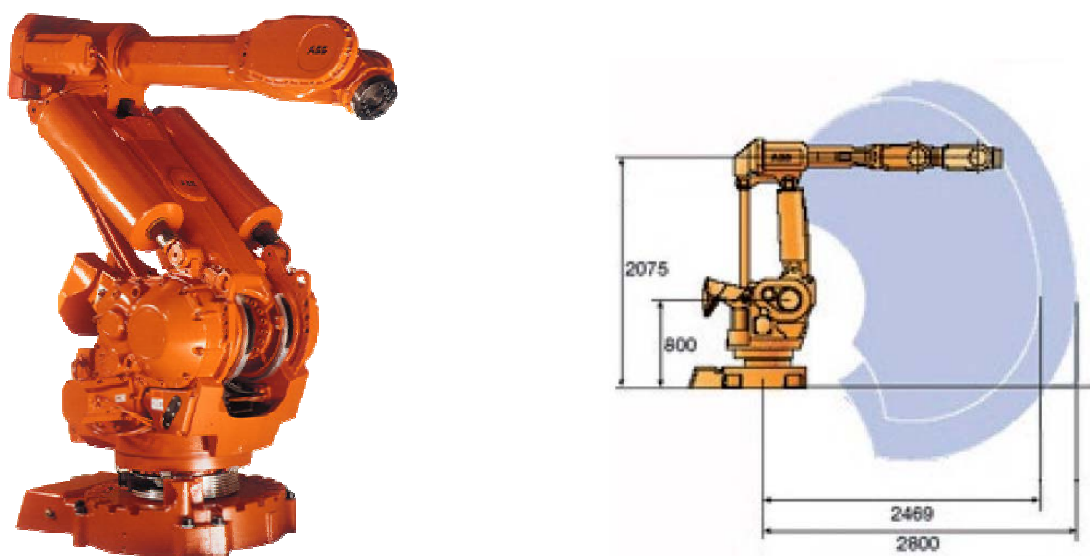




### 2.1.1 Varianta A

Uvažovaná varianta je znázorněna na *obr. 2.3*. Proces manipulace zajišťuje robot ABB IBR – 6400RF (*obr. 2.2*), který je ukotven vedle navrženého pásového dopravníku a do pracovního prostoru je zabudován nosný rám CCD kamery.

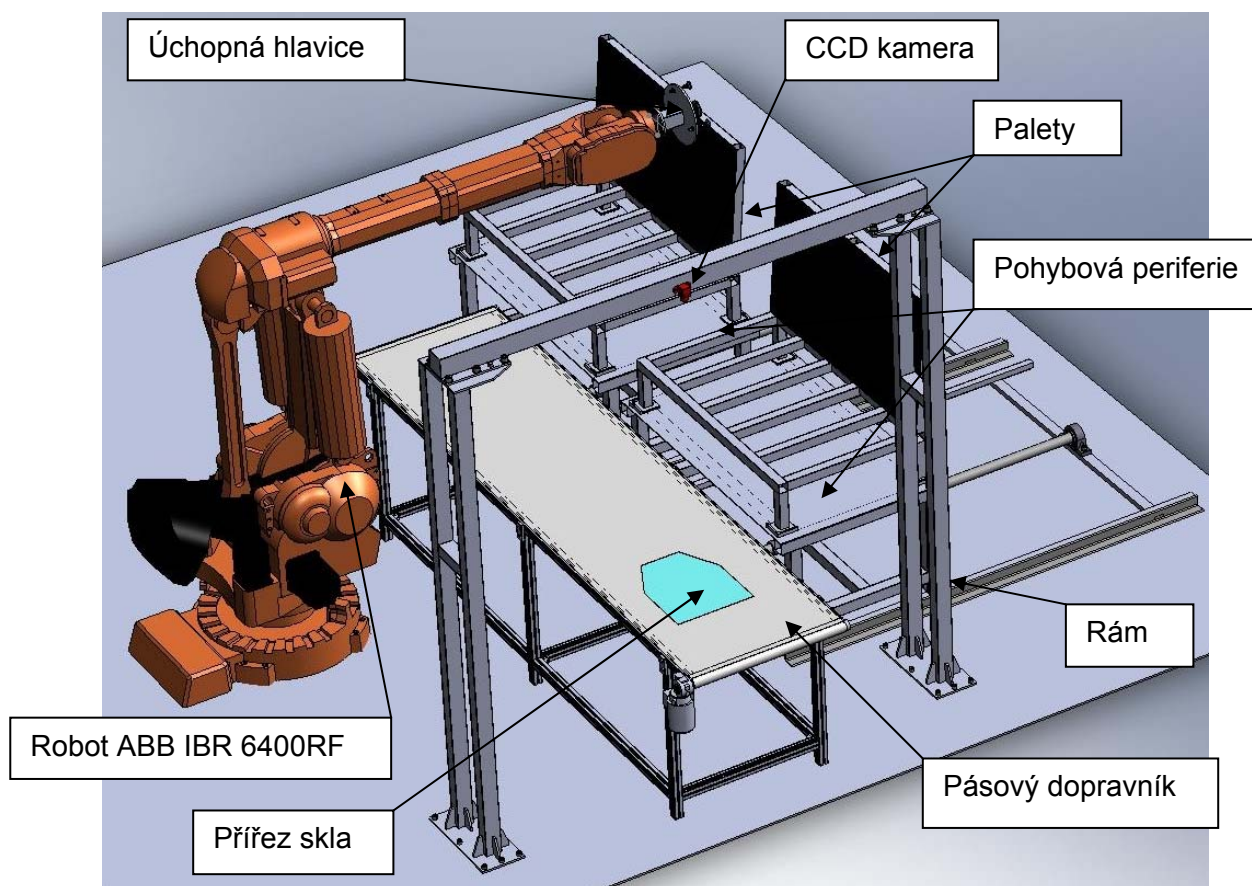
Ve firmě AGC Automotive jsou všechny roboty od firmy ABB, proto byla navržena varianta, ve které bude robot této firmy. Nové pracoviště, bylo navrženo pomocí novějšího typu robotu, než který na lince doposud přířezy manipuloval a to typ IBR 6400RF od firmy ABB. Nový robot navazuje na předchozí vynikající vlastnosti průmyslového robotu IBR 6400, je velice spolehlivý a je zde zaručena vysoká doba provozuschopnosti a provedení s minimálními nároky na údržbu. U robotu je zaručeno pokročilé řízení pohybu a možnost detekce kolize snižuje riziko poškození úchopné hlavice a přířezu skla na dopravníku. Díky unikátnímu řízení pohybu od ABB robot vždy optimalizuje dráhu, tj. zrychlování a zpomalování podle aktuálního břemena, čímž se dosáhne nejkratší možné doby cyklu. Robot patří k nejlepším ve své třídě co se týče přesnosti dráhy a opakovatelnosti polohy ( $RP=1,0$  mm) a díky TrueMove od ABB robot vždy sleduje stejnou dráhu nezávisle na rychlosti. IRB 6400RF se vyznačuje robustní celooceľovou konstrukcí s vysokou pevností materiálu. Ramena jsou mechanicky vyvážená s dvojítm uložením. Verze Foundry Plus má stupeň krytí IP67 pro celé mechanické rameno, které proto může být čištěno vysokotlakou parou, je to proto vhodný robot pro použití v náročných podmínkách se znečištěním.



*Obr. 2.2* Robot ABB IRB 6400RF s vymezením pracovního prostoru



Zvolený robot je vhodný pro aplikaci manipulace s přířezy skel a má předpoklady pro bezproblémovou automatickou manipulaci s přířezy ve firmě AGC Automotive zvládnout.



Obr. 2. 3 Layout 1 s robotem ABB IRB 6400RF

#### Výhody:

- není nutná výměna robotu;
- plně automatizované pracoviště;
- nízké cenové náklady;
- minimální změna pracoviště.

#### Nevýhody:

- horší komunikace se zvoleným programovatelným automatem SIMATIC;
- nutnost instalace přídavného rámu CCD kamery.

### 2.1.2 Varianta B

Uvažovaná varianta předpokládá aplikaci robotu KUKA KR 30 L16. Rozmístění komponentů je totožné jako u varianty A.

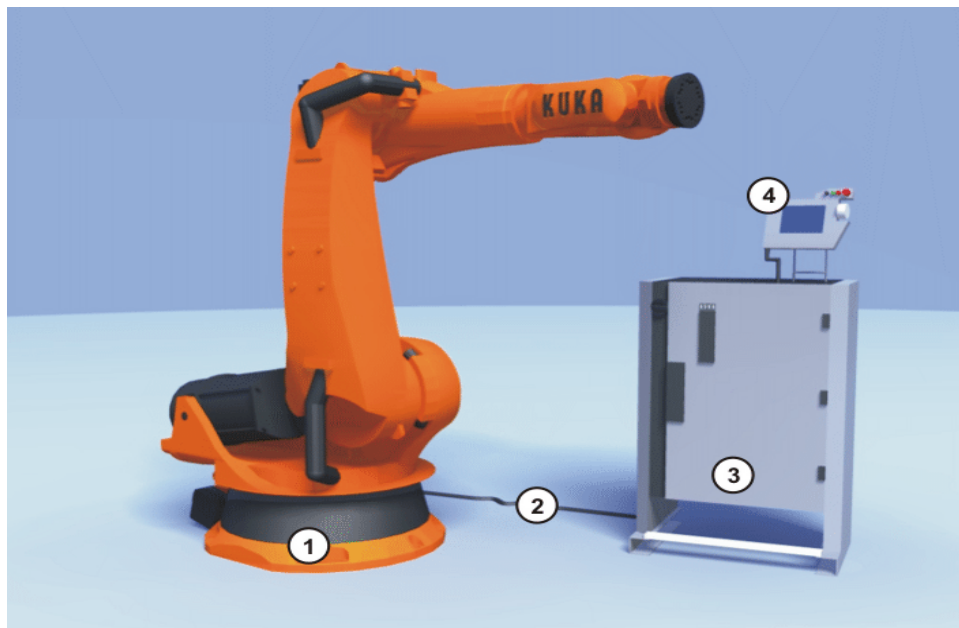
V druhém pracovišti byl alternativně zvolen robot KUKA KR 30 L16 *obr. 2.4*, který se vyznačuje velkou tuhostí a pohybem v šesti osách. Celý robot je vyroben z kvalitní litiny, která zaručuje vysokou tuhost a minimalizuje vibrace při rychlém přesunu do vybrané polohy. V závislosti na těchto faktorech má robot vysokou pracovní frekvenci a je charakteristický dobrými dynamickými vlastnostmi. Přesnost polohování zaručují AC servomotory, které snesou přetížení, a zároveň je vybaven tepelnou ochranou proti přetížení. Robot je tvořen kinematickým řetězcem vázaným na rám kloubové koncepce se 6 stupni volnosti. Na konci robotu je příruba, sloužící pro montáž úchopné hlavice a pro manipulaci s přířezy skel. Upevnění robotu k podlaze pomocí šesti šroubů M24 a tří kolíků, které zaručí přesné vymezení polohy.

Přehled systému navrženého robotu:

- Robot
- Řídicí systém robotu
- Ruční programovací systém KCP
- Spojovací vedení
- Software



*Obr. 2.4* Robot KUKA KR 30 L16

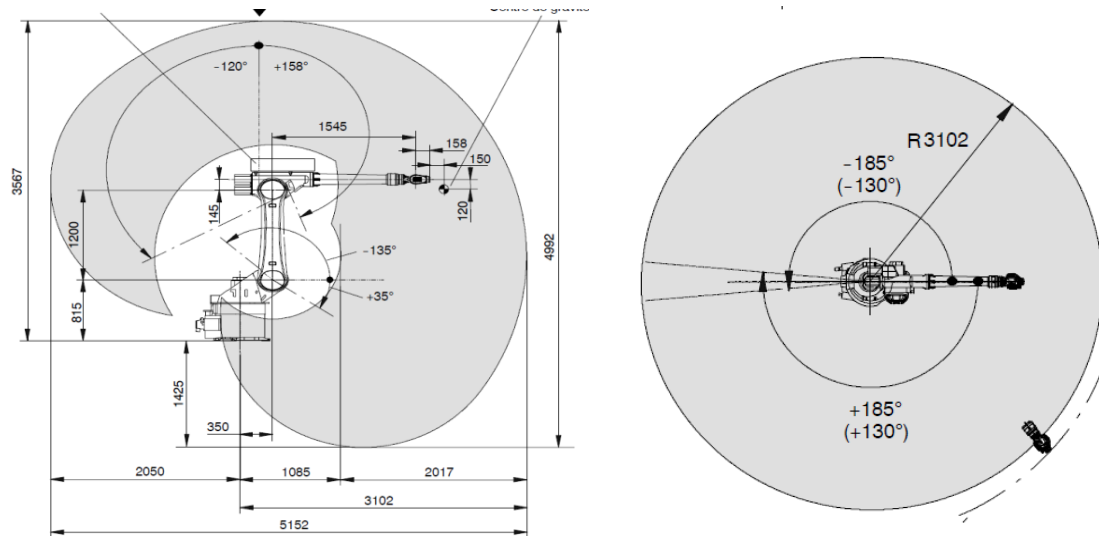


Obr. 2.5 Řídicí systém robotu KUKA KR 30 L16

- |                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| 1 Robot            | 3 Řídicí systém robotu |
| 2 Spojovací vedení | 4 Ruční                |

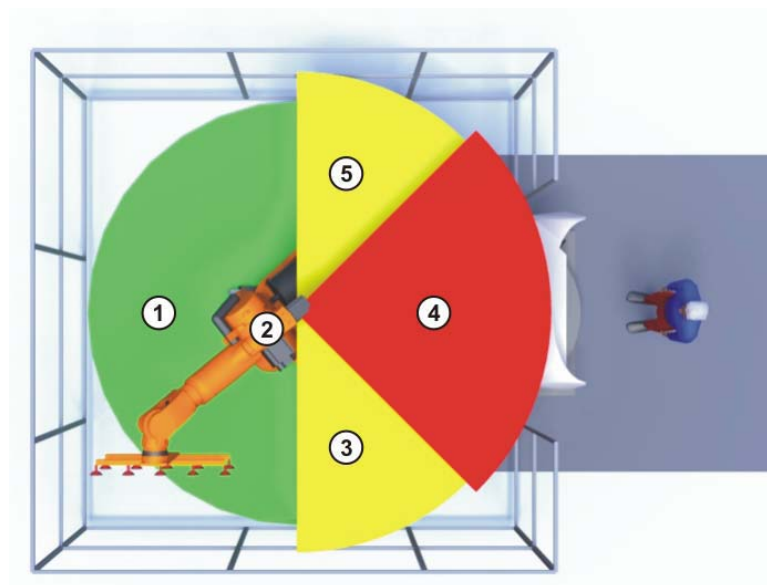
Při konstrukci celého pracoviště je nutné zajistit, aby stanoviště (podlaha) měla potřebnou kvalitu betonu a nosnost. Toto kritérium je ve firmě AGC Automotive zaručeno. V technických specifikacích jsou uvedeny pro každou variantu robotu hlavní zatížení základu.

Při návrhu nového pracoviště bylo nutné dodržet minimální vzdálenosti řídicího systému robotu od stěn, řídicích skříní, palet s přířezy se skly a rámu, na kterém je zavěšena CCD kamera. Při návrhu byla dodržena ochranná a nebezpečná zóna. Pracovní zóna byla omezena na potřebné minimální rozměry. Tato zóna byla opatřena ochranným zařízením (bezpečnostním plotem). Nebezpečná zóna obsahuje pracovní zónu a brzdné dráhy robotu. Bylo nutné tuto zónu zajistit, aby nedošlo ke kolizi s osobami pohybujícími se v blízkosti linky, k poškození palet, nebo rámu a pásového dopravníku.



Obr. 2.6 Průřez pracovním prostorem robotu KUKA KR 30 L16

Z diagramu (obr. 2.6) je patrné, že navržený robot KUKA KR 30 L16 plně vyhovuje pracovním podmínkám. Robot byl navržen v návaznosti na výkresovou dokumentaci dodanou firmou ACG Automotive.

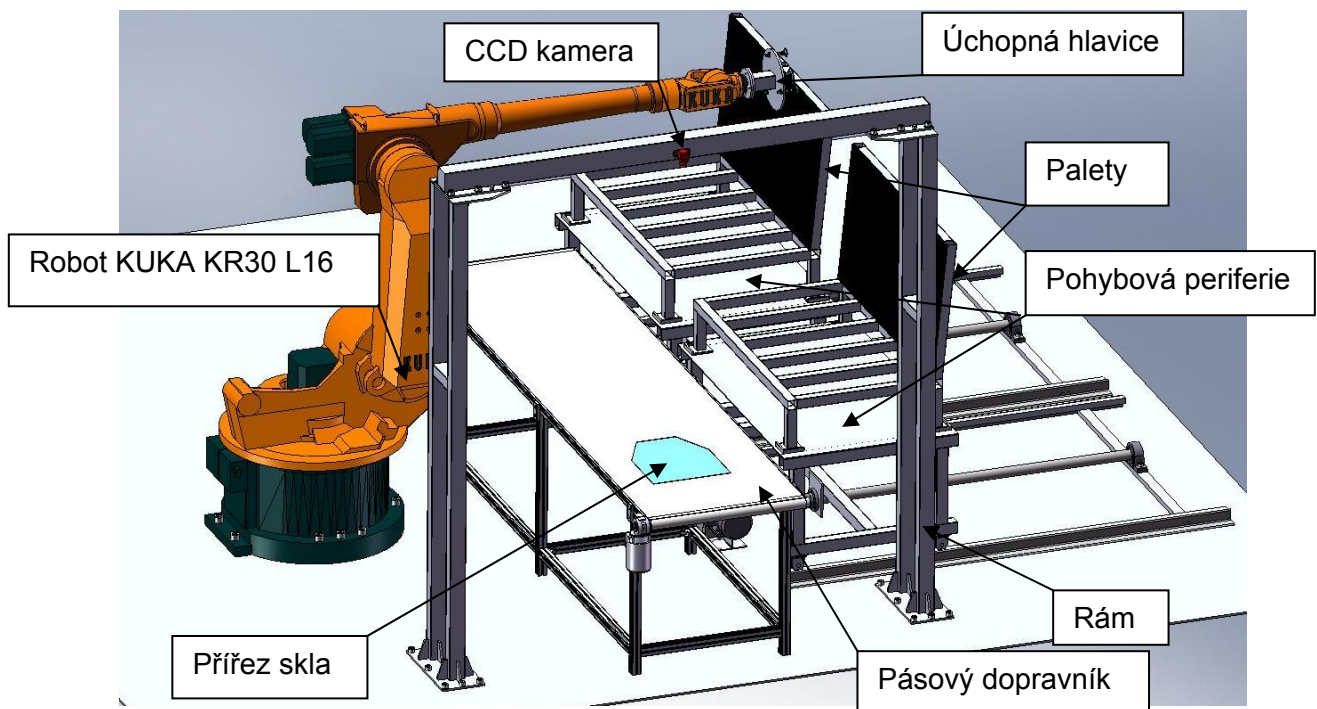


Obr. 2.7 Rozložení bezpečnostních zón pracoviště

1. Pracovní zóna - zde je umístěn pásový dopravník a stojany na přířezy skel
2. Robot - KUKA KR 30 L16 s úchopnou hlavou a s přísavkami
3. Brzdná dráha
4. Ochranná zóna – zde se může pohybovat operátor linky a programátor robotu
5. Brzdná dráha



U robotizovaných pracovišť platí striktní zákaz vstupu do pracovní zóny robotu. Snímací senzory, včetně 3D senzorů a 3D kamer s vyhodnocováním v reálném čase, které musí být na lince použity, jsou na vysoké úrovni a dokáží zamezit náhodné kolizi, nehledě na to, že vedle různých virtuálních bezpečnostních závěsů jsou aplikovány v rámci zajištění bezpečnosti i různé protikolizní způsoby řízení robotů, většinou s poklesem pracovní rychlosti na tzv. bezpečnou rychlost. Robot, který zde v cyklu odebírá přířezy skel z pásového dopravníku a transportuje je do připravené palety, musí být v předepsané vzdálenosti oplocen, aby bylo zamezeno přístupu osob k pracovní zóně robotu a nedošlo ke kolizi robotu s obsluhou (*obr. 2.7*). Uspořádání dle varianty B je realizováno v souladu s omezujícími požadavky a jeho layout je představen na *obr. 2.8*.



Obr. 2. 8 Layout 2 s robotem KUKA KR 30 L16

#### Výhody:

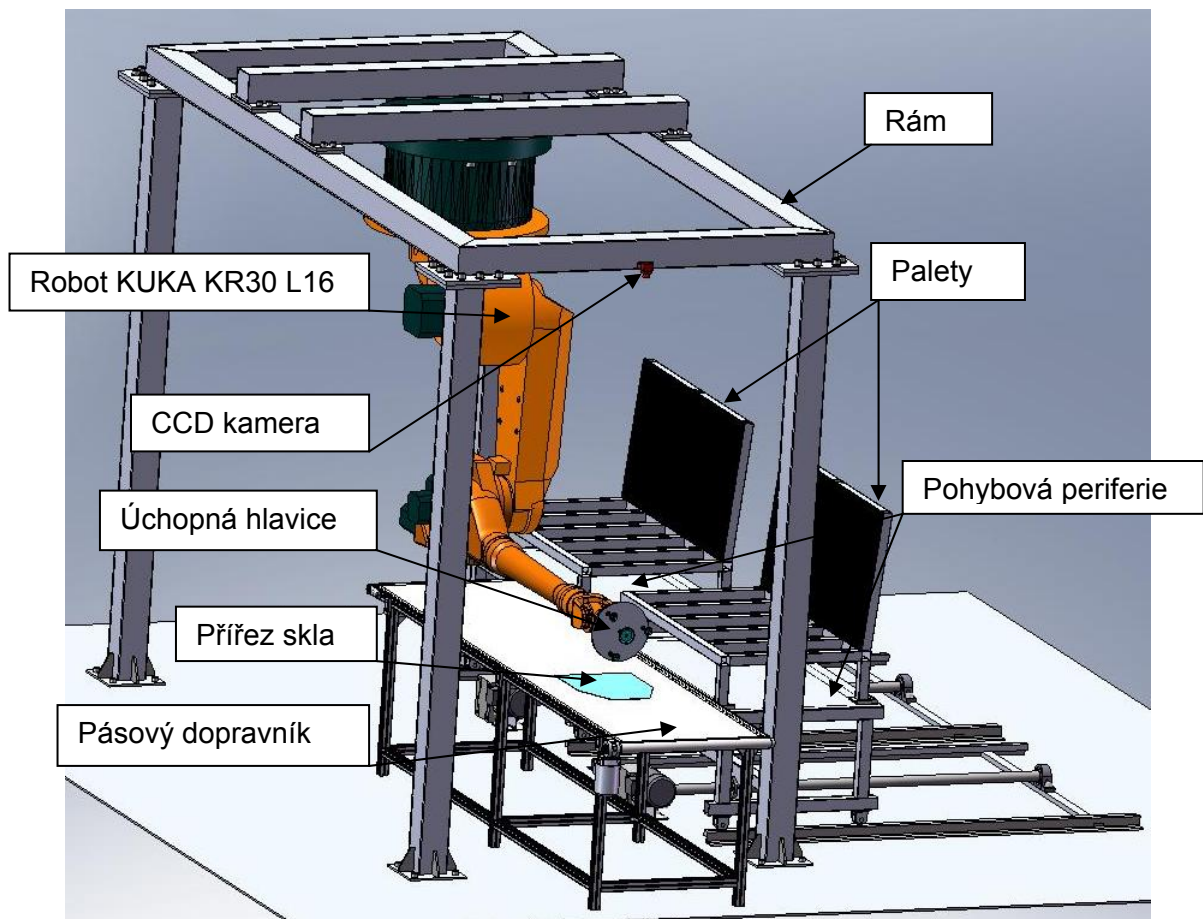
- plně automatizované pracoviště
- výborné propojení s programovatelným logickým automatem SIMATIC

#### Nevýhody:

- nákup nového robotu
- nutnost instalace přídavného rámu CCD kamery

### 2.1.3 Varianta C

Uvažovaná varianta C je znázorněna na *obr. 2.9*. Robot, který je zavěšený nad pásovým dopravníkem a přimontován na tuhém rámu. CCD kamera je součástí rámové konstrukce. Varianta je navržena s robotem KUKA KR 30 L16.



*Obr. 2. 9* Layout 3 podle varianty C prezentuje zavěšený robot

#### Výhody:

- vysoká flexibilita robotu
- výborné propojení s programovatelným logickým automatem SIMATIC
- úspora pracovního prostoru
- CCD kamera součástí nosného rámu

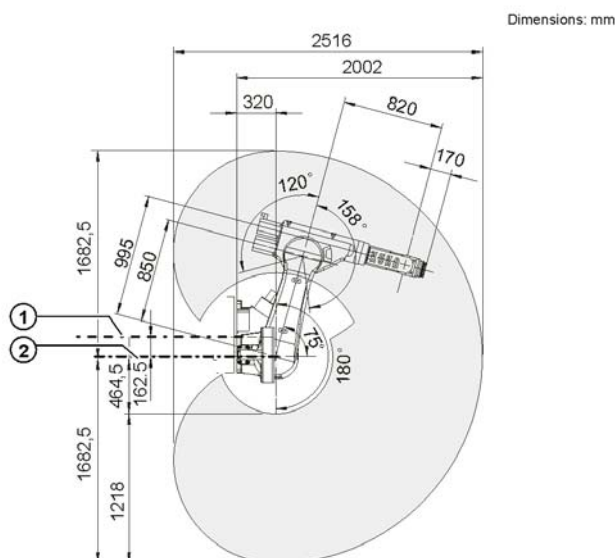
#### Nevýhody:

- vyšší nároky na tuhost rám

### 2.1.4 Varianta D

Uvažovaná varianta je znázorněna na *obr. 2.10*. Na základě potřebné nosnosti a velikosti pracovního prostoru je zvolen portálový robot KUKA KR 30 Jet. Robot zajistí odnímání přířezů skel z pásového dopravníku a vkládání skel do palet. Přímo na robotu je umístěna CCD kamera, která snímá scénu pásového dopravníku.

Na pásového dopravníku je transportován přířez skla vždy v 8mi sekundovém intervalu. Řídicí systém pásový dopravník pod robotem zastaví, robot se ustaví do předem stanovené statické polohy a sejme polohu přířezu skla na lince. Po zjištění souřadnic a natočení přířezu skla na dopravníkovém pásu řídicí systém zasílá informace robotu, který se přizpůsobí přestavením do příslušné polohy a přířez skla s vysokou přesností uchopí a přenáší do palety.



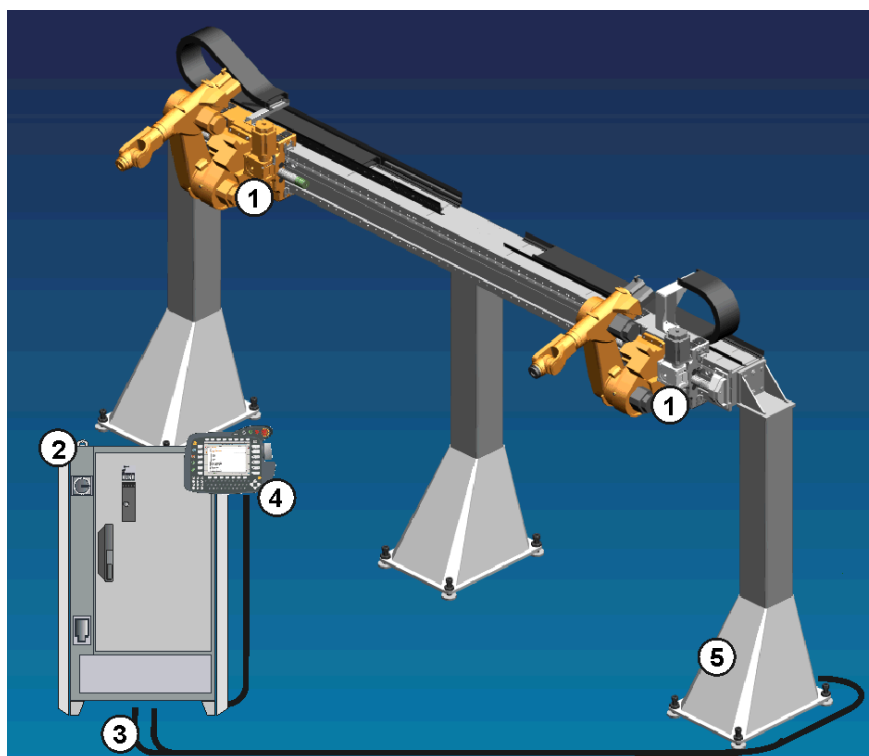
*Obr. 2.10* Průřez pracovním prostorem KUKA Jet KR 30

#### Celkový pohled na systém robota:

KUKA Jet KR 30 robotický systém *Obr. 2.11* se skládá z následujících komponentů:

- JET TRACK osa modulu;
- KR 30 robot;
- Robotický kontrolér;
- Spojovací kabel.





Obr. 2.11 KR 30 Jet systém

1. KR 30 Jet robot
2. řídicí systém robotu
3. spojovací kabely
4. ruční ovládací panel
5. Jet TRACK axiální modul

### Popis robotu:

Mechanický systém tohoto typu robotu se skládá z hlavních prvků KR 30 ROBOT Jet *obr. 2.12* a Jet TRACK *obr. 2.13* - dráha osy robotu. Oba hlavní prvky jsou modulární a v designu mohou být sestaveny v širokém rozsahu.

### Jet TRACK osová dráha:

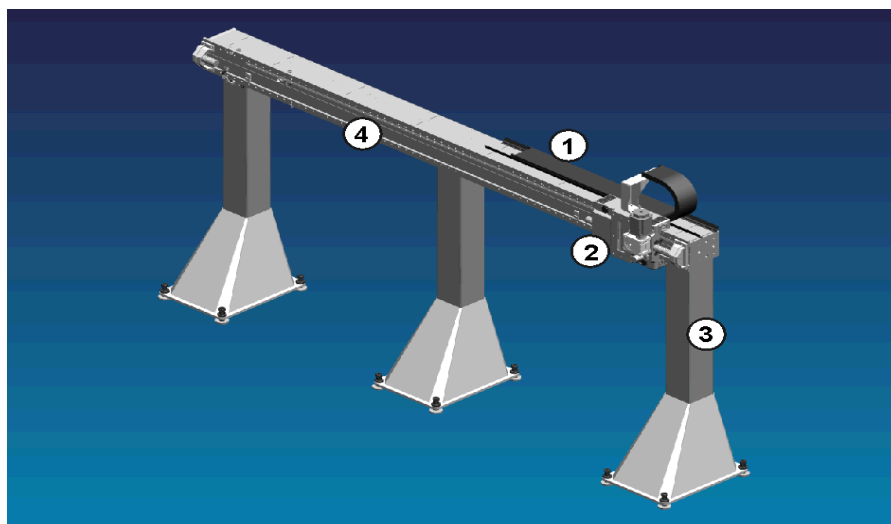
Jednotka osy *Obr. 2.13* se skládá z následujících základních dílů:

- sloup
- nosník
- převoz



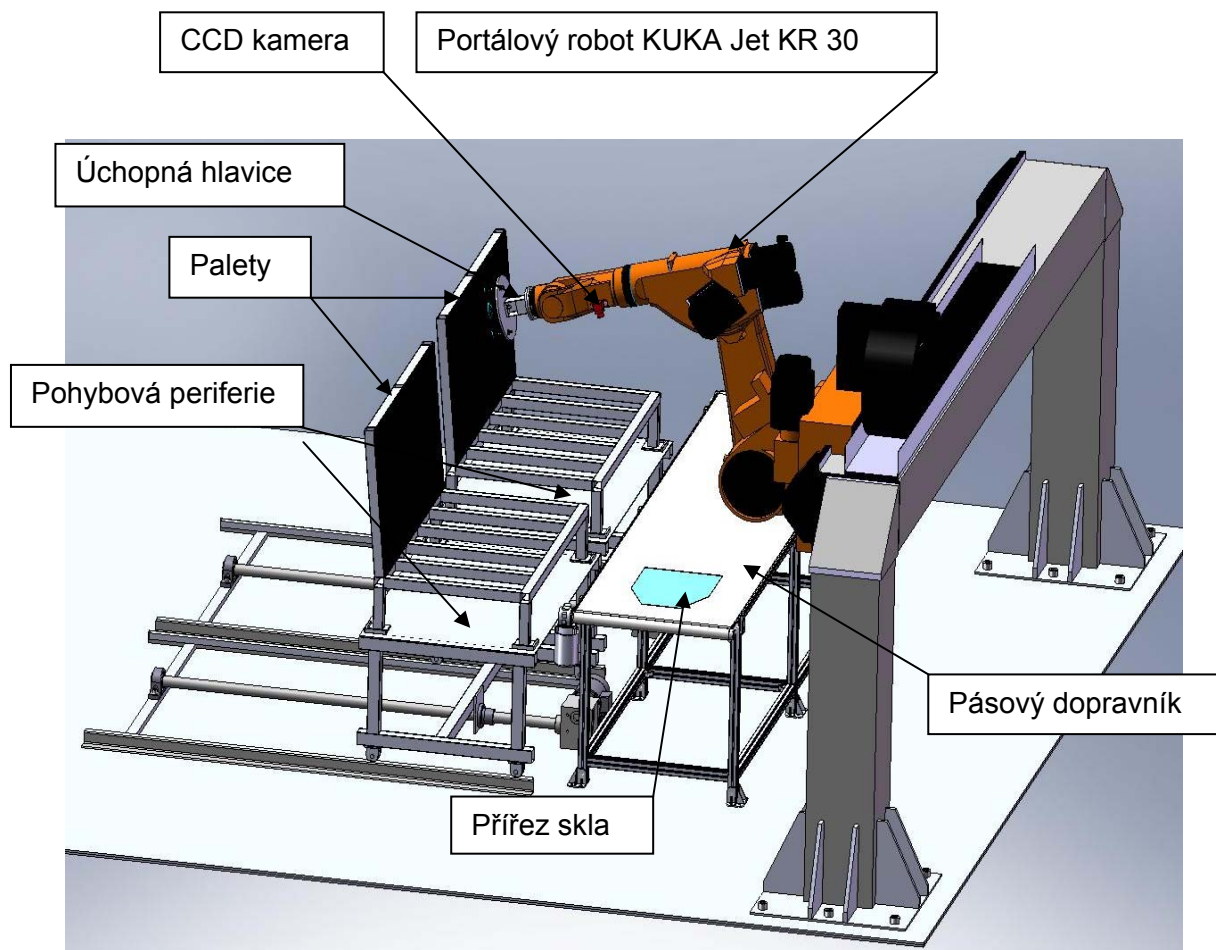
Obr. 2.12 Portálový robot KUKA Jet KR 30

Axiální osa modulu může být sestavena z několika variant. Byla zvolena varianta se dvěma podpěrnými sloupy a šířka, ve které může robot pracovat, je 2000 mm. Celý portál je kotven do podlahy šrouby M30. Vzhledem k vysoké hmotnosti robotu a velké celkové hybnosti, je zvoleno 8 kotvicích šroubů na jednom sloupu obr. 2.14.



Obr. 2.13 Sestava KR 30 Jet TRACK

1. přívod elektrické energie
2. převoz
3. sloup
4. hlavní nosník



Obr. 2.14 Layout 4 portálový robot

**Výhody:**

- flexibilita robotu
- úspora pracovního prostoru
- CCD kamera je součástí robotu a není potřeba přidavný rám

**Nevýhody:**

- vysoké pořizovací náklady portálového robotu
- hrozba rozhození souřadnicových systémů robot – kamera



### 2.1.5 Výběr varianty pro konstrukční řešení

Při rozhodovací analýze byly posuzovány čtyři varianty koncepčního uspořádání:

**Varianta A** – Robot ABB IBR 6400RF

**Varianta B** – Robot KUKA KR 30 L16

**Varianta C** – Zavěšený robot KUKA KR 30 L16

**Varianta D** – Portálový robot KUKA Jet KR 30

Výše uvedené varianty byly podrobeny rozhodovací analýze. Jedná se o metodu, která patří do kategorie heuristických metod a účelně spojuje přednosti empirického a exaktního rozhodování. Rozhodovací analýza postihuje užité vlastnosti i zápory posuzovaných variant. Pro výběr vhodné varianty koncepce řešení plně automatizovaného pracoviště byla uvažována tato kritéria:

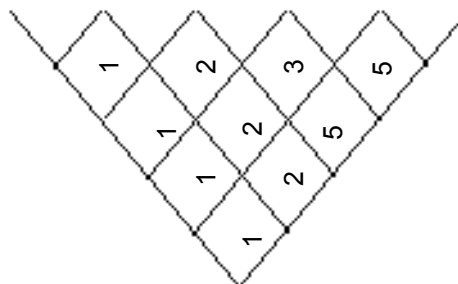
1. flexibilita robotu,
2. jednoduchost systému,
3. náklady na realizaci,
4. nároky na zastavěnou plochu,
5. komplexnost pracoviště.

Pro jednotlivá kritéria byla použita stobodová stupnice užitenosti a metodou párového srovnání byla přiřazena váha příslušného kritéria při výpočtu váženého průměru. Absolutní pořadí bylo relativizováno ve vztahu k „ideální“ variantě, která fiktivně splňuje všechna kritéria na 100%.



Tabulka 2. 1 Výběr variant

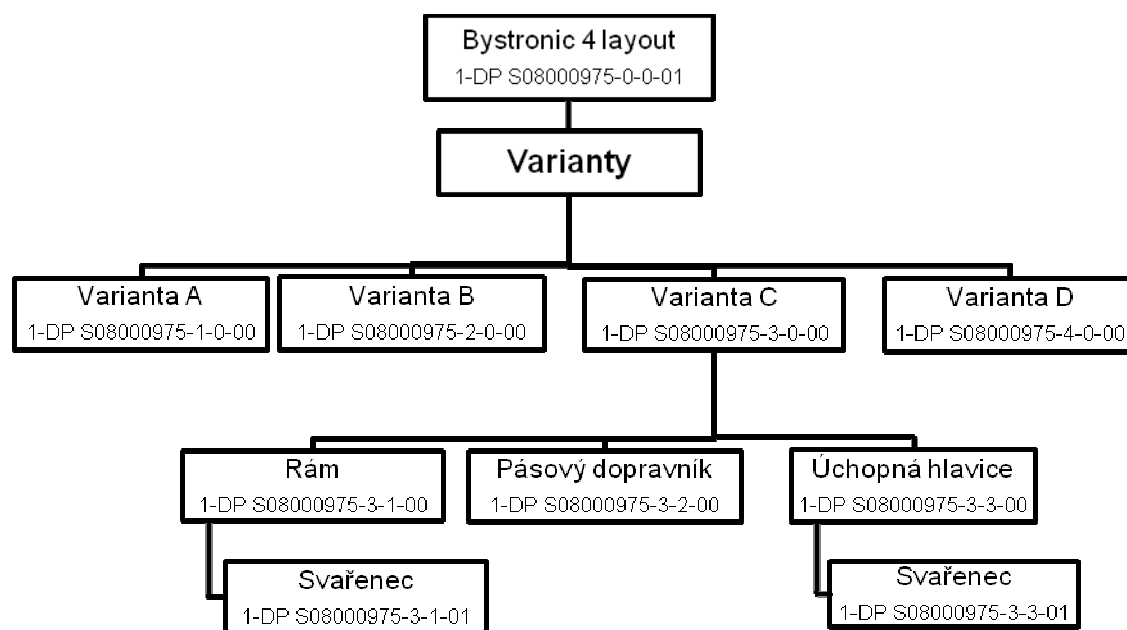
PÁROVÉ SROVNÁNÍ									
KRITÉRIÍ				X	A	B	C	D	
				HODNOTA	HODNOTA	HODNOTA	HODNOTA	HODNOTA	
KRITÉRIUM				PROSTÁ	PROSTÁ	PROSTÁ	PROSTÁ	PROSTÁ	
				VÁŽENÁ	VÁŽENÁ	VÁŽENÁ	VÁŽENÁ	VÁŽENÁ	
1	Flexibilita robotu	4	VÁHA	100	500	90	90	65	325
2	Jednoduchost systému	3	POŘADÍ VÝZNAMNOSTI	100	360	80	100	80	320
3	Náklady na realizaci	1	POČET VOLEB	100	180	80	90	60	120
4	Nároky na zastavěnou plochu	0		100	50	90	90	100	100
5	Komplexnost pracoviště	2		100	285	85	100	90	270
CELKEM				1500	1375	1275	1420	1135	



## 2.2 Přehled výkresové dokumentace

Výkresová dokumentace obsahuje výkres původního layoutu linky Bystronic 4 (1-DP S08000975-0-0-01), dodané firmou AGC Automotive a dále konstrukční řešení všech variant robotizované manipulace se skelnými přířezy, včetně detailních výkresů a podsestav vybrané varianty C. Varianty jsou označeny (č. v. 1-DP S08000975-1 až 4-0-00).

Konstrukční řešení dále obsahuje sestavný výkres konceptu pásového dopravníku (č. v. 1-DP S08000975-3-2-00). Pásový dopravník je doplněn o sestavný výkres úchopné hlavice robotu (č. v. 1-DP S08000975-3-3-00). Dalším sestavným výkresem je sestava rámu (č. v. 1-DP S08000975-3-1-00). Sestavy jsou doplněny o dva výkresy svařenců. Schéma členění výkresové dokumentace je zobrazeno na *obr. 2.15*, včetně uspořádání a návaznosti podsestav a výrobních výkresů. Veškerá vypracovaná výkresová dokumentace je umístěna na přiloženém CD v elektronické podobě, včetně seznamu výkresové dokumentace.



Obr. 2.15 Schéma uspořádání výkresové dokumentace

## 2.3 Základní uspořádání linky – layout, vybraná Varianta C

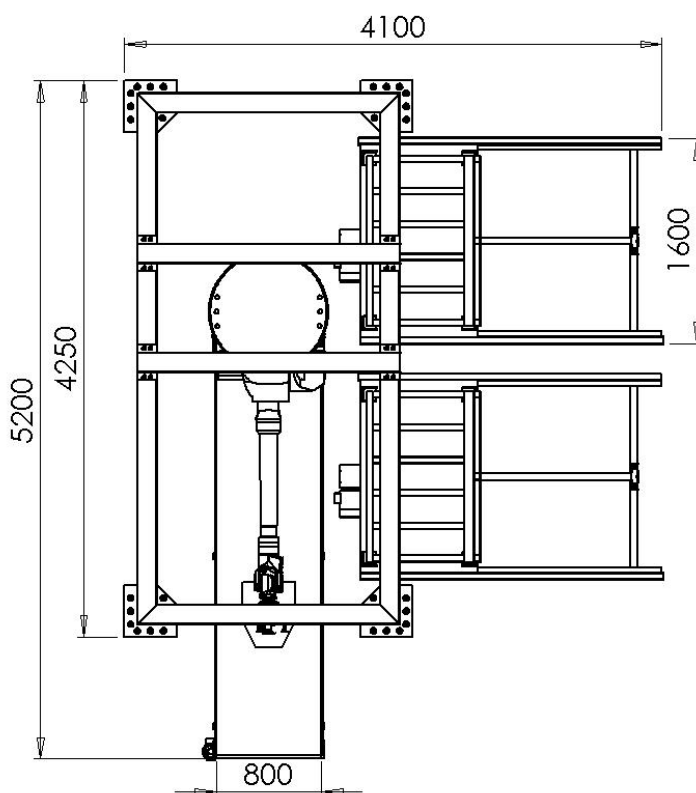
Rozmístění palet a robotu včetně rámu pro zajištění kompletního procesu manipulace s přířezy skla bylo zvoleno v závislosti na:

- omezení velikosti pracovního prostoru
- pracovním prostorem robotu
- vzdáleností robotu od palet
- rychlosti a krátké vzdálenosti manipulace

Délka a šířka rozložení vychází z těchto požadavků:

- dvě palety vedle sebe – 3400 mm
- pásový dopravník šířka – 800 mm
- šířka rámu pro zavěšení robotu – 2000 mm
- délka rámu pro zavěšení robotu – 4000 mm
- výška rámu pro zavěšení robotu – 3200 mm

Dle rozhodovací analýzy byla zvolena nejvhodnější varianta C. Layout varianty C, včetně základních rozměrů, je zobrazen na *obr. 2.16*. Z obrázku je patrné rozmístění palet pásového dopravníku a zavěšeného robotu na rámu.



*Obr. 2. 16* Layout vybrané varianty C s rozměry



## 2.4 Časová dispozice robotu

Tabulka 2.2 Časový snímek manipulačního cyklu zavěšeného robotu

Úkon	Doba trvání [s]	Doplňující informace
Nasnímání CCD kamerou přířez skla	1	Robot stojí v najeté připravené pozici tak, aby nebránil nasnímání přířezu skla
Zpravování obrazu	1	PC určí souřadnice přířezu skla na lince a zasílá data PLC, které předává data řídicímu systému robotu a navede robota
Uchopení přířezu skla úchopnou hlavicí	1	Robot, který obdrží výsledné souřadnice ze systému, najíždí na přířez skla a v přesné poloze přířez skla uchopí
Přesun k paletě	2	Robot manipuluje přířez skla k paletě
Dotlačení přířezu skla na paletu	1	Robot zpomalí a šetrně dotlačí přířez skla k paletě
Odložení skla na paletu	1	Robot zpomaleně popojede od palety
Návrat do výchozí polohy	1	Robot se vrací do výchozí polohy a je připraven k další manipulaci
<b>Celkový čas manipulace</b>	8	Podmínka manipulace 8s. na jeden cyklus je splněna

Z časové dispozice pracovního cyklu vyplývají požadavky na pracovní proces manipulace robotu. Celý cyklus trvá 8 sekund. Robot dle tabulky 2.2 musí být stále v pohybu, aby byl splněn požadovaný takt linky na kompletní manipulaci a ustavení jednoho přířezu skla.



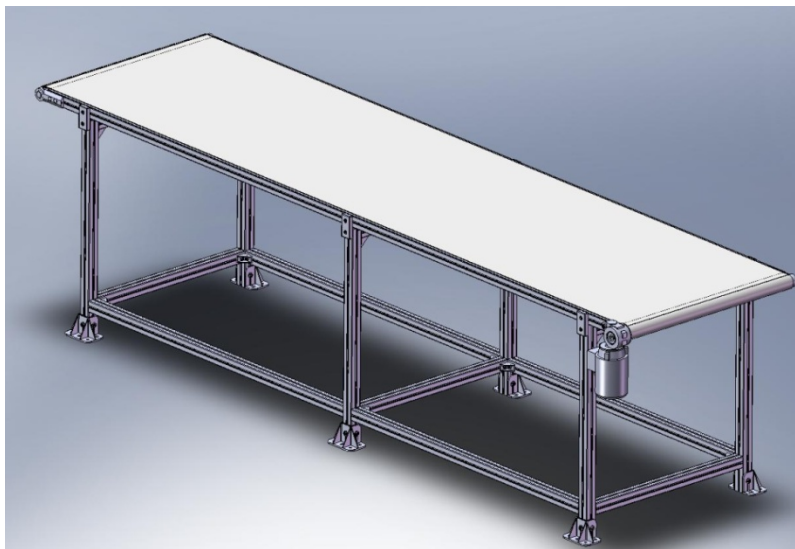
### 3. Konstrukční řešení odnímacího zařízení robot vision

Tato kapitola se věnuje konstrukčnímu řešení všech navržených komponentů, které zajišťují proces manipulace, je zde vytvořen návrh pásového dopravníku a úchopné hlavice robotu a obsažen popis rámu uchycení CCD kamery variant A a B a nosného rámu vybrané varianty C. Posledním bodem kapitoly je návrh vazby výstupu kamerového snímání na software robotu včetně návrhu kompletního řízení celé odnímací části linky.

#### 3.1 Návrh pásového dopravníku

Návrh stroje se skládá z dlouhého rámu, respektive nosné konstrukce stroje, na které jsou upevněny otočné válečky, které tvoří pevnou pojezdovou dráhu pro pohyblivý pryžový pás, po kterém se přepravují přířezy skla. Pásový dopravník je konstruován, jako zařízení určené pro přepravu ve vodorovné poloze. Pohon pásu stroje obstarává asynchronní elektromotor přes poháněcí buben, na kterém je dopravní pás nasazen. Řešení pohonu pásového dopravníku je pohon prostřednictvím bubnového motoru (elektroválce). Pohon bubnovým motorem přináší prostorově úsporné řešení, zjednodušení konstrukce dopravníku a minimální náročnost na údržbu.

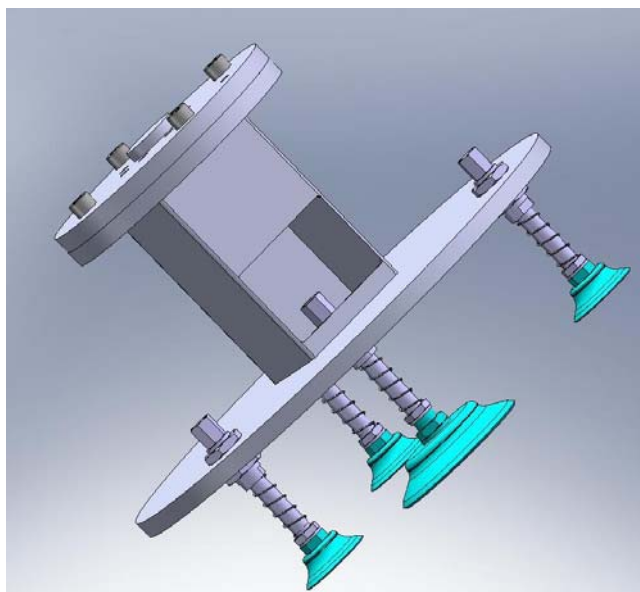
Pásový dopravník je smontovaný z hliníkových profilů firmy MiniTec. Dopravník je 3150 mm dlouhý a šířka pásu je 800 mm, výška je 900 mm. Sestavný výkres celého pásového dopravníku je součástí výkresové dokumentace.



Obr. 3.1 Pásový dopravník

### 3.2 Návrh úchopné hlavice s přísavkami

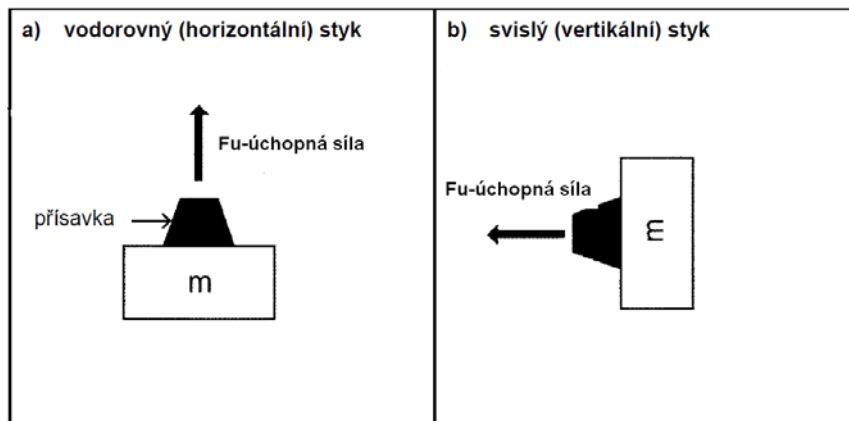
Při návrhu podtlakové úchopné hlavice byl kladen důraz na jednoduchost a univerzálnost použití jedné hlavice na všechny typy produkovaných skel. Po konzultaci s firmou AGC Automotive byla navržena úchopná hlavice, která vyhovuje všem typům skel. Požadavkem na její konstrukci jsou minimální rozměry a minimální hmotnost. Nejprve byla navržena příruba, která se upevní na přírubu robotu. Jedná se o přírubu průměru 150 mm. V přírubě jsou vyvrtány otvory pro zahlužené šrouby a kolík, který vymezí přesnou polohu obou přírub. Po zamontování pomocné příruby do hlavy robotu dojde k rozšíření hlavy robotu a k pomocné přírubě se přimontuje pomocí 4 šroubů M8 a dvou vymezovacích kolíků úchopná hlavice. Úchopná hlavice je složena z pomocné příruby a základny, ve které jsou vyvrtány otvory pro odpružené držáky přísavek. Na základnu je přivařen jekl 70 x 70 mm, ve kterém je vyfrézován otvor pro přívod vzduchu k držáku přísavky, který je ve středu základny. Základna má celkový průměr 300 mm a jsou v ní vyvrtány otvory pro odpružené držáky přísavek firmy Schmalz. Jedná se o speciální odpružené držáky, které zaručí při najetí úchopné hlavice na přířez skla minimální poškození přířezu. Hlavní přísavka je ve středu roztečné kružnice a má průměr 80 mm. Další 3 pomocné přísavky mají průměry 40 mm a jsou umístěny na roztečné kružnici o průměru 240 mm. Přísavky jsou vůči sobě pootočené o 120 stupňů. Úchopná hlavice je součástí výkresové dokumentace dodané v diplomové práci.



Obr. 3.2 Úchopná hlavice

### 3.2.1 Výpočet podtlakové úchopné hlavice

Pro výpočet potřebného minimálního rozměru přísavky je třeba stanovit mezní případy působení zatěžující síly. Při uchopení přířezu skla z pásu bude přířez nejprve uchopen v horizontální rovině, zdvižen o 50 mm a robot se s přířezem otočí o  $210^\circ$  za čas 2 s na rameni  $R=0,8$  m. Po dosažení polohy robot přířez skla otáčí do vertikální polohy za čas 1 s na rameni  $R=0,4$  m od kloubového spoje, poté robot pomalu doráží přířez do palety.



Obr. 3.3 Základní typy zatěžování přísavky

**Zatížení axiální** – úchopná rovina je během manipulace horizontální a zatěžování je axiální:

maximální hmotnost přířezu skla	$m = 5 \text{ kg}$
poloměr otáčení	$R = 0,8 \text{ m}$
maximální rozměry přířezu skla	$0,6 \times 0,6 \times 0,004 \text{ m}$
doba otáčení	$t = 2 \text{ s}$
úhel otočení přířezu	$\alpha = 210^\circ = \frac{7\pi}{6}$
provozní vakuum	$\Delta p = 70 \text{ kPa}$
koeficient tření (sklo – přísavka)	$f = 0,2$
koeficient bezpečnosti	$k = 4$
počet přísavek	$n = 4$

Statické zatížení přířezu skla je

$$F_{ax} = \frac{m \cdot g}{n} = \frac{5 \cdot 9,81}{4} = 12,5 \text{ N.}$$

Potřebná síla na jednu přísavku pro zdvih

$$F_u = k \cdot F_{ax} = 4 \cdot 12,3 = 73,8 \text{ N.}$$

**VERTIKÁLNÍ ZDVIH:**

- dynamické a adhezní síly jsou zahrnuty ve vyšším koeficientu bezpečnosti **k=6**

$$F_{uz} = k \cdot F_{ax} = 6 \cdot 12,3 = 73,8 \text{ N}$$

Otáčení se zdviženým přířezem:

- předpoklad plynulého rozjezdu a brždění (doba rozběhu a brždění je stejná)

Maximální úhlová rychlost

$$\omega = \frac{2 \cdot \alpha}{t} = \frac{2 \cdot \frac{7\pi}{8}}{2} = \frac{7\pi}{8} \text{ s}^{-1}.$$

Úhlové zrychlení

$$\varepsilon = \frac{\omega}{t} = \frac{\frac{7\pi}{8}}{2} = \frac{7\pi}{16} \text{ s}^{-2}.$$

Odstředivá síla na konci rozběhu

$$O = m \cdot R \cdot \omega^2 = 5 \cdot 0,8 \cdot \left(\frac{7\pi}{8}\right)^2 = 214,9 \text{ N}.$$

Zrychlující síla

$$T = m \cdot R \cdot \varepsilon = 5,08 \cdot \frac{7\pi}{8} = 14,7 \text{ N}.$$

Radiální zatížení přísavek

$$F_{rad} = \sqrt{\left(\frac{O}{4}\right)^2 + \left(\frac{T}{4}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{214,94}{4}\right)^2 + \left(\frac{14,66}{4}\right)^2} = 53,9 \text{ N}.$$

Axiální zatížení přísavek

$$F_{ax} = \frac{m \cdot g}{n} = \frac{5 \cdot 9,81}{4} = 12,26 \text{ N}.$$

Úchopná síla při kombinovaném zatížení

$$F_u = k \cdot \left(F_{ax} + \frac{F_{rad}}{\mu}\right) = 4 \cdot \left(12,26 + \frac{53,86}{0,2}\right) = 1109,0 \text{ N}.$$

Určení plochy přísavek

$$S_w = \frac{F_u}{\Delta p} = \frac{1109,04}{0,07} = 15843,43 \text{ mm}^2.$$

Účinný průměr jedné přísavky

$$d_w = \sqrt{\frac{4 \cdot S_w}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 15843,43}{\pi}} = 142,03 \text{ mm}.$$



Což znamená přísavku s geometrickým průměrem 180 mm. Reálně jsou v konstrukci zvoleny 4 přísavky - největší přísavka s průměrem 100 mm, která je umístěna ve středu úchopné hlavice a bude vždy v těžišti přířezu skla, další 3 přísavky jsou umístěny konstrukčně po obvodu roztečné kružnice a mají průměr 60 mm, což lze považovat z hlediska zatížení za ekvivalentní.

### **KONTROLA PRO VERTIKÁLNÍ ROVINA UCHOPENÍ:**

úhel natočení	$\beta = 80^\circ$
dobu otočení	$t = 1 \text{ s}$
úhel rozběhu a doběhu	$\gamma = 5^\circ$
poloměr otáčení	$R = 0,4 \text{ m}$

Jedná se o konstantní rychlost otáčení, proto platí:

Úhlová rychlost

$$\omega = \frac{\beta + 2 \cdot \gamma}{t} = \frac{80 + 2 \cdot 5}{1} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{360} = \frac{\pi}{2} = 1,57 \text{ s}^{-1}.$$

Zrychlení během rozběhu a brždění

$$\varepsilon = \frac{\omega^2}{2 \cdot \gamma} = \frac{1,57^2}{2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{360} \cdot 5\right)} = 14,1 \text{ s}^{-2}.$$

Doba rozběhu

$$t_r = \frac{\omega}{\varepsilon} = \frac{1,57}{14,1} = 0,1 \text{ s}.$$

Odstředivá síla

$$O = m \cdot R \cdot \omega^2 = 5 \cdot 0,4 \cdot 1,57^2 = 4,93 \text{ N}.$$

Zrychlující síla

$$T = m \cdot R \cdot \varepsilon = 5 \cdot 0,4 \cdot 14,1 = 28,2 \text{ N}.$$

Radiální síla

$$F_{rad} = m \cdot g = 5 \cdot 9,81 = 49,05 \text{ N}.$$

Axiální síla

$$F_{ax} = T + O = 28,2 + 4,93 = 33,13 \text{ N}.$$

Úchopná síla pro kombinované zatížení

$$F_u = k \cdot \left( F_{ax} + \frac{F_{rad}}{\mu} \right) = 4 \cdot \left( 33,13 + \frac{49,05}{0,2} \right) = 1113,52 \text{ N}.$$

Dosažená síla je jen nepatrně odlišná od zatížení při vertikálním zdvihu ( $>0,5\%$ ), proto lze navržené přísavky akceptovat.

Spotřeba energie zdroje vakua roste exponenciálně k velikosti vakua. Zvýšíme-li hodnotu vakua ze 70 kPa na hodnotu 100 kPa, zvýšíme 1,5 krát sílu přísavky. Současně ale stoupne 10 krát spotřeba energie, zvýší se opotřebení přísavky a tím se zkrátí její životnost. Proto je výhodnější používat v praxi větší rozměry přísavek a nižší hodnoty vakua, než malé rozměry přísavek a vyšší hodnoty vakua.

Jsou zvoleny ploché přísavky. Ploché přísavky jsou vhodné pro uchopení předmětů z pevného materiálu s hladkou a rovnou plochou. Zajišťují dobrou stabilitu a minimální pohyb předmětu při manipulaci. Jsou vhodné i pro aplikace, kde přídržná síla působí paralelně s plochou manipulovaného předmětu.

Upevnění přísavky v odpruženém držáku umožňuje kompenzovat výškové rozdíly plochy manipulovaného předmětu. Robot nemusí mít přesně definovanou koncovou polohu. Přítlačení přísavky na povrch stejnou silou snižuje její opotřebení a zvyšuje její životnost. Odpružené držáky s polohou zajištěnou proti potočení zaručují přesnou polohu manipulovaného předmětu při jeho uchopení a uvolnění.

Celá funkční plocha přísavky musí být zakryta manipulovaným předmětem. Seběmenší netěsností proudí po přivedení vakua do přísavky vzduch. Nelze dosáhnout potřebného vakua a tedy i síly potřebné k upnutí předmětu.

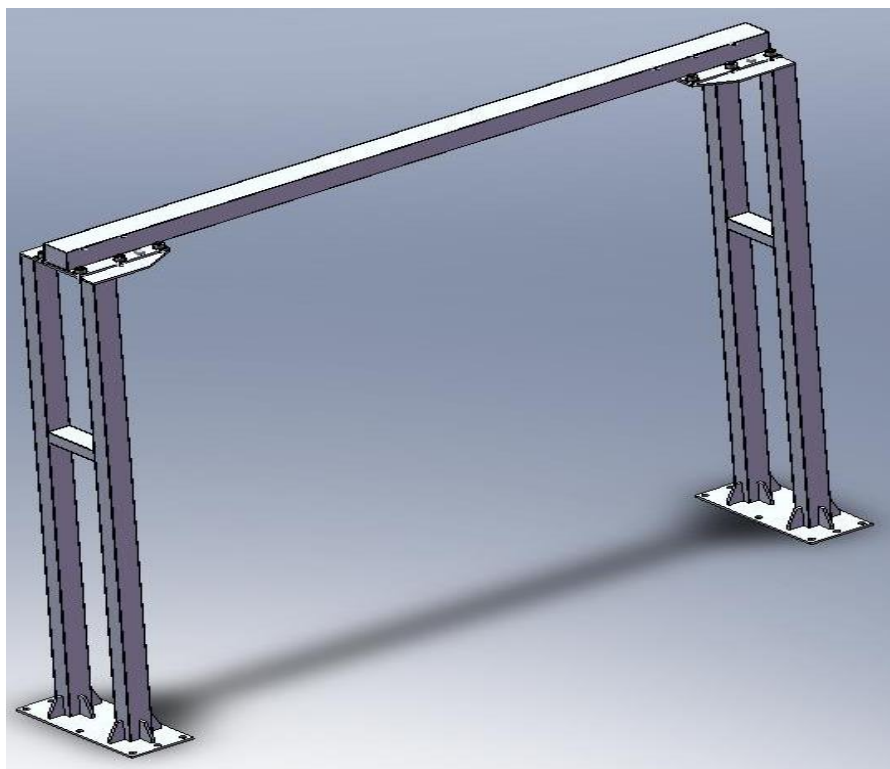


Obr. 3.4 Přísavka s odpruženým držákem



### 3.3 Rám pro CCD kameru varianty A, B

Rám, na kterém je přimontována CCD kamera pro snímání polohy přířezu skla na pásovém dopravníku, byl navržen s vysokou tuhostí. Třídílný nosný rám je složen ze dvou nosných sloupů a příčnicku, na kterém je přimontována CCD kamera. Nosný sloup je svařený ze dvou trubek obdélníkového průřezu 80 x 50 mm, a je navařen na základnu ve vzdálenosti 200 mm od sebe. Základna je pevně ukotvena k podlaze. Základnu tvoří plech 500 x 220 mm o tloušťce 10 mm. V základně je vyvrtáno 8 děr pro šrouby M20. V horní části rámu na obdélníkových trubkách je přivařen ocelový plech o rozměrech 320 x 200 mm a tloušťce 10 mm. V ocelovém plechu je vyvrtáno 6 závitových děr pro šrouby M20. Ve výšce 1500 mm od základny je na rámu přivařena obdélníková trubka 80 x 60 mm dlouhá 200 mm, která slouží pro zpevnění rámu. Nosnou část rámu tvoří jekl 100 x 100 mm tloušťky 3 mm. Na koncích jeklu je přivařený ocelový plech o rozměrech 320 x 200 mm a tloušťce 10 mm. V tomto plechu jsou vyvrtány otvory pro šrouby M20, aby byl rám snadno smontovatelný. V plechu jsou vyvrtány dva otvory pro vystředění za pomoci válcových kolíků. Na nosném jeklu je přivařen ocelový plech o rozměrech 50 x 50 mm a tloušťce 10 mm, ve kterém jsou vytvořeny závitové díry M8 pro přimontování CCD kamery.

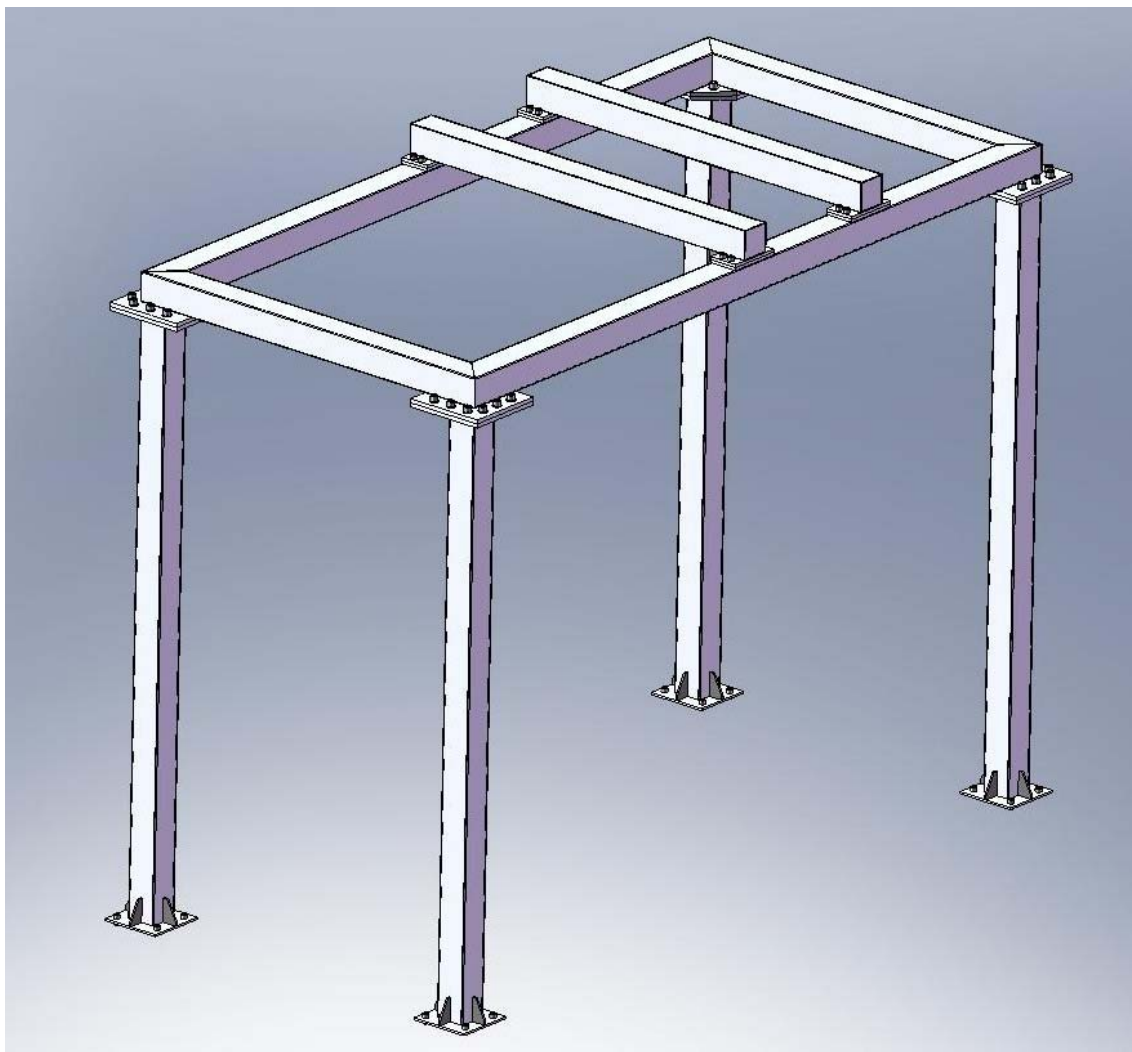


Obr. 3.5 Rám varianty A a B



### 3.4 Rám pro zavěšení robotu, vybraná varianta C

Rám, na kterém je zavěšen robot, byl navržen s vysokou tuhostí vzhledem k hmotnosti robotu. Rám lze snadno smontovat a je složen ze 4 nosných sloupů, na kterých je přimontována nosná svařená konstrukce z uzavřených profilů. Součástí svařené konstrukce jsou dva příčné nosníky, na kterých jsou přivařené plechy se závitami a pomocí šroubů M30 je zavěšen robot. Jekly, které jsou na rámu použity, mají obdélníkový průřez 150x150 mm a tloušťku 5 mm. Základny nosného rámu tvoří čtvercové plechy s dírami pro uchycení za pomocí šroubů M20 do podlahy, které zaručí vysokou stabilitu rámu. Sloupy jsou ke svařované konstrukci přimontovány z každé strany sedmi šrouby M24. Rám je součástí výkresové dokumentace.

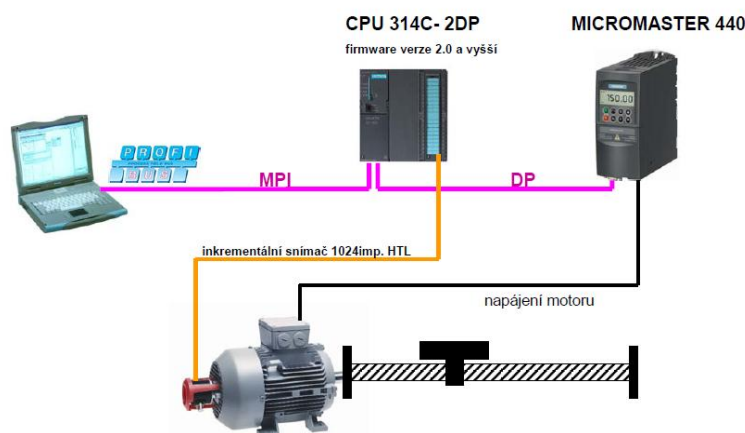


Obr. 3.6 Rám pro zavěšení robotu



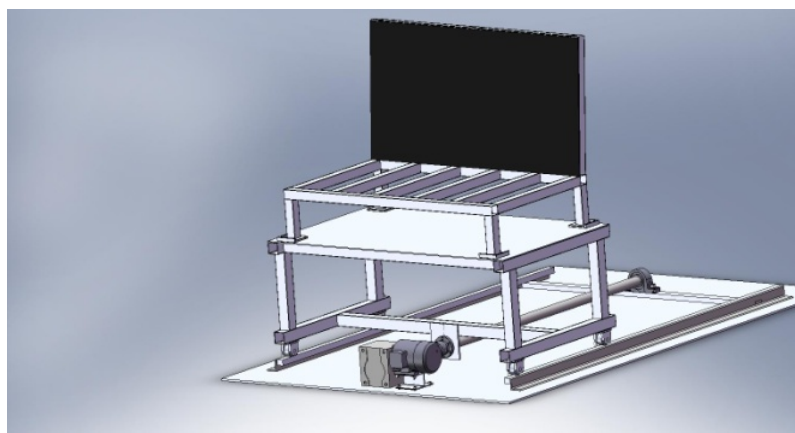
### 3.5 Návrh pohybové periferie s paletou včetně SW řízením

Byla navržena pohybová periferie s paletou. Paleta, do které se sklo manipuluje, je lehce odnímatelná za pomoci vysokozdvizného vozíku. Pohybová periferie byla navržena na vodících lištách, které jsou napevno přimontované k podlaze. Pohybové ústrojí periferie bylo navrženo z komponentů firmy ZIMM. Součástí pohybové periferie je kuličkový šroub dlouhý 2 m. Kuličkový šroub byl na jednom konci uchycen v převodovce a na druhém konci v ložiskovém domečku a je veden uprostřed pohybové periferie tak, aby působící síla byla rovnoměrně rozložena na obě strany. Součástí pohyblivého ústrojí je asynchronní motor s frekvenčním měničem, pomocí kterého se řídí rychlost otáčení a směr otáčení kuličkového šroubu. Frekvenční měnič byl navržen z komponentů firmy MICROMATER typ 440, který spolehlivě spolupracuje s navrženým PLC (programovatelný logický automat), který je podrobně rozepsán v kapitole 3.6.1. Využití lineárního pohonu v nové aplikaci představuje náročný úkol ze dvou důvodů. V případě přesné aplikace posuvů na lince musí být zpravidla splněna celá řada požadavků od spolehlivosti, přesnosti a opakovatelnosti polohování po omezené rozměry a nízkou hlučnost. Druhým důvodem je existence velkého množství různých systémů zajišťujících lineární pohyb. Základní sestava kuličkového šroubu se skládá ze šroubu poháněného motorem, matice a zařízení zajišťujícího oběh kuliček. Na rozdíl od kluzných šroubů, které se vyznačují vyšším součinitelem tření a nižší účinností, přemění kuličkový šroub zpravidla cca 90 % točivého momentu motoru na axiální posuvnou sílu. K této vysoké účinnosti přispívá hřídel s přesnou válcovanou nebo broušenou šroubovou drážkou, která je vyrobena po celé délce hřídele, a matice s odpovídající vnitřní drážkou. Drážka na hřídeli má funkci vnitřní oběžné dráhy a drážka v matici odpovídá vnější oběžné dráze, po níž se odvalují přesné ocelové kuličky. Kuličky, které se pohybují v drážce mezi hřídelí a maticí vyvolávají lineární pohyb hřídele, nebo matice v závislosti na požadavcích aplikace. Takové řešení zajišťuje minimální mechanické opotřebení a spolehlivou funkci po celou dobu trvanlivosti šroubu.



Obr. 3.7 Řízení kuličkového šroubu pohybové periferie

Na obr. 3.7 je znázorněno schéma přenosu dat ze zvoleného PLC (programovatelného logického automatu). Toto PLC je zvoleno v kapitole 3.6.1. diplomové práce. Přenos z frekvenčního měniče do PLC a jeho realizace pomocí DP protokolu. DP Profibus (Decentralized Periphery) - jedná se o nejjednodušší a nejrozšířenější variantu Profibusu, určenou pro rychlou komunikaci typu master-slave. Tento DP Profibus je vhodný zejména pro rychlý přenos signálů z procesu pomocí decentralizovaných periférií a odloučených I/O jednotek. Komunikačním médiem je buď standardní RS-485, nebo optické vlákno při rychlosti až 12 Mbit/s. Samotné naprogramování PLC realizované pomocí sběrnice MPI. Multi Point Interface, sběrnice vystavěná na základě definice RS-485 s využitím v průmyslové automatizaci a vychází ze sítě Profibus. Napájení motoru je navrženo přímo pomocí frekvenčního měniče. Přímě na asynchronním motoru byl umístěn inkrementální snímač, který zajišťuje přesnou polohu kuličkového šroubu.



Obr. 3.8 Navržený stojan s kuličkovým šroubem



## 3.6 Kamerový systém a softwarové vazby na řídicí systém

V další kapitole diplomové práce je řešen návrh optického systému a řízení linky Bystronic 4.

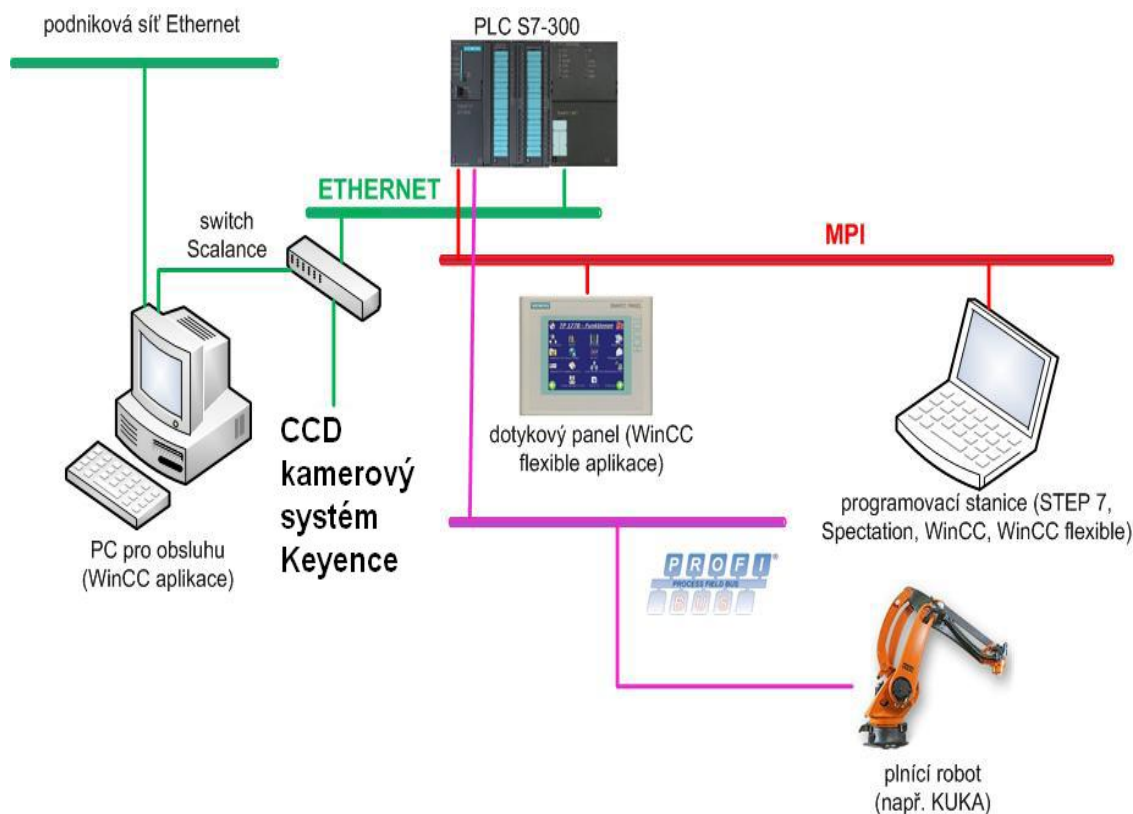
### 3.6.1 Analýza problematiky řízení

Cílem je automatizovat stávající proces manipulace za pomoci CCD kamery, který je doposud prováděn mechanickými dorazy. Navržená aplikace bude realizována pomocí kamery CCD - kamery od firmy Keyence. Vzhledem k charakteristice řízeného procesu, kdy je přířez skla uložen na řemenovém dopravníku a následně je manipulován robotem do palety. V novém uspořádání konce linky, kdy je vyměněn řemenový dopravník za pásový, se nenabízí příliš mnoho řešení automatizace tohoto procesu. Od samotného počátku tedy bylo bráno v úvahu řešení založené na principu strojového vidění (Machine Vision). Dalším požadavkem na automatizovaný systém řezací linky Bystronic 4, může být také vizualizace průběhu plnění palety přímo z procesu (v těsné blízkosti konce linky pro obsluhu). Tedy vizualizace pro kontrolu provozu a podnikovou síť. První zmíněná část vizualizace je prakticky vždy v takových procesech realizována tzv. HMI (Human Machine Interface) vizualizačními systémy, obvykle různými dotykovými panely (obrazovkami). Druhá část vizualizace je označována jako SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), je realizována prostřednictvím klasických PC, nebo průmyslových PC. Celý řídicí systém je navržen a realizován pomocí produktů firmy Siemens a komunikačních komponent CCD kamery Keyence. Protože společnost Siemens při výběru robotů pro své aplikace úzce spolupracuje se společností KUKA, je v této aplikaci využit robot této společnosti.

Nedílnou součástí řešené problematiky je i bezpečnost řízeného procesu. Jedná se zejména o zajištění bezpečnosti obsluhy, ale také funkční bezpečnosti. K této problematice je v průběhu řešení také přihlédnuto. Pro řízení celého procesu byl vybrán řídicí PLC systém SIMATIC S7-300. Samotná řídicí aplikace pro PLC SIMATIC S7-300 je vytvořena v programovacím nástroji *STEP7*. V aplikaci je využito současně několik komunikačních sběrnic používaných v průmyslu nejčastěji. Pro komunikaci řídicího systému s kamerovým systémem a se SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), vizualizační aplikací realizovanou na PC a to sítí Ethernet. Prostřednictvím této sběrnice je možné proces monitorovat z podnikové sítě. Pro



komunikaci řídicího systému s řízeným robotem je využita sběrnice Profibus. Průmyslová sběrnice Profibus (Process Field Bus) je určena pro automatizaci výrobních linek. Pro připojení HMI (Human Machine Interface) vizualizační stanice a programovacího PC využiji sběrnici MPI (Message Passing Interface). MPI sběrnice je knihovna implementující stejnojmennou specifikaci (protokol) pro podporu paralelního řešení výpočetních problémů. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), vizualizační aplikace pro PC je vytvořena ve vývojovém programu, který dodává přímo firma Keyence a slouží pro zobrazení stavu řízeného procesu a pro účely ukládání procesních dat do databází. Na obr. 3.9 je zobrazena celá navržená systémová komunikace.



Obr. 3.9 Navržené nové řízení linky Bystonic 4



### 3.6.2 Systémy průmyslového zpracování obrazu

Systémy průmyslového zpracování obrazu, někdy také nazývané systémy strojového vidění (Machine Vision) jsou nedílnou součástí dnešní moderní průmyslové automatizace a umožňují především měření a čtení čárových a 3D kódů, kontrolu potisků, nalezení vad, identifikaci barev, rozpoznání polohy a druhu, počítání a kontrolu úplnosti sestavení. Tyto systémy se využívají zejména tam, kde je třeba zaručit velkou přesnost. Jediný způsob jak dosáhnout velké přesnosti, je správné nastavení celého systému Machine Vision. Kvalitní výsledky s použitím těchto systémů lze dosáhnout za předpokladu, že jsou splněny další patřičné okolnosti, jako je kvalitní osvětlení snímané scény, odstínění této scény od dalších zdrojů sekundárního světelného záření, použití vhodného typu objektivu kamery, vhodného rozlišení snímacího čipu použité kamery a vhodně zvolené výšky umístění kamery. Aplikace kamerových systémů zaručuje přesné měření přířezů, automatickou optickou kontrolu objektivně, rychle a spolehlivě (rozměry, obrysy, tvary, přítomnost, orientace a přesné nalezení těžiště přířezů skel). Produktivitu zvyšuje automatické rozpoznání různých sortimentů přířezů skel, které jsou přiřazeny k různým kategoriím na základě tvaru, rozměrů, vzoru).

### 3.6.3 Význam optiky ve strojovém vidění

Optická soustava, kterou tvoří hlavně kamerový objektiv (lens) spolu s vhodným osvětlením má za úkol vytvořit na obrazovém senzoru takový dvojrozměrný obraz třírozměrné skutečnosti, který obsahuje vyhodnotitelnou informaci potřebnou pro vyřešení orientace polohy přířezu skla na pásovém dopravníku. Strojové vidění, neboli celá optická soustava vytváří obraz, který by měl splňovat následující parametry:

- *dostatečné rozlišení*
- *vhodný kontrast*
- *dostatečnou hloubku ostrosti*
- *přijatelné geometrické zkreslení*
- *přijatelné perspektivní zkreslení*



### 3.6.4 Význam osvětlení ve strojovém vidění

K dosažení potřebné kvality snímání a tedy následně i vyhodnocení, je potřebné splnit podmínku správného nasvícení přříezu skla na pásovém dopravníku. Osvětlení musí být vhodné pro snímání transparentního materiálu. Většinou se volí kombinace několika druhů osvětlení (plošné pole, prstencové osvětlení zavěšené přímo na CCD kameře, přidavné boční osvětlení atd.).

Osvětlovací soustava je stejně důležitou částí systému strojového vidění jako kamera a inspekční software. Účelem osvětlení v průmyslovém zpracování obrazu je dosáhnout maximálního kontrastu přříezu skla, které jsou pro danou úlohu velice důležité, proti částem které nejsou předmětem inspekce. Zároveň je třeba minimalizovat vliv změn v okolí na reprezentaci objektu jasným obrazem na obrazovém senzoru, aby inspekční program vykazoval opakovatelné výsledky. Návrh optimální osvětlovací soustavy začíná analýzou interakce objektu a světla. Postup lze shrnout do následujících pěti bodů:

- *analýza vlastností snímaného objektu vzhledem k úloze zpracování obrazu*
- *analýza potřebných vlastností použitého světla*
- *stanovení vhodné geometrie osvětlení*
- *výběr vhodného osvětlovače*
- *eliminace rušivých vlivů*

### 3.6.5 Spojení kamerových a robotických systémů

Spojení robotických a kamerových systémů je již běžné. V dnešní době se stále častěji realizují aplikace, kde robot provádí výrobní operace a systém strojového vidění dodává informace o situaci v pracovním prostoru. Průmyslové inteligentní kamery (SMART kamery) jsou pro spolupráci s robotem velmi výhodné. Mají dostatečný výkon i potřebné nástroje k tomu, aby vyhodnotily situaci v zorném poli kamery a předaly robotu potřebné informace bez nutnosti dalších výpočtů v řídicím systému. Instalace systému strojového vidění na robotu vyžaduje splnění tří podmínek:

- 1) *Hardwarové propojení systému strojového vidění a robotu*
- 2) *Vhodné nástroje pro zpracování obrazu a jejich kompatibilita se softwarem robotu*
- 3) *Sjednání systému souřadnic robotu a obrazu*

### 3.7 Kameraný systém Keyence CV-2100

Společnost Keyence pro Českou republiku uvedla v roce 2004 na trh rychlý digitální kamerový systém řady CV-2100, určený především pro průmyslové aplikace, v nichž je třeba detekovat přítomnost, anebo nepřítomnost objektů, určovat přesnou polohu, nebo měřit rozměry a následně zpracovávat data z těchto měření pro budoucí zpracování. Tento systém byl vybrán pro sledovanou aplikaci.

#### 3.7.1 Popis systému

Kameraný systém CV-2100 obr. 3.10 pracuje na principu digitálního zpracování obrazu. Uživatel má k dispozici 32 nezávislých programů, ve kterých je 64 měřicích oken. Základním elementem kamerového systému CV-2100 je řídicí jednotka koncipovaná jako autonomní systém, v němž jsou zpracovávány obrazy a naměřená data. K řídicí jednotce jsou připojeny všechny periferní jednotky: kamery, monitor, ovladač, paměťová karta, PLC, senzory, rozhraní RS-232C a Ethernet.



Obr 3.10 Kameraný systém Keyence CV-2100

Díky použité technologii DSP (Digital Signal Processing) a ASIC (Application Specific Integrated Circuit) je čas zpracování obrazu přibližně 3 ms (20 000 vzorků/s). Tomu napomáhá i digitalizace obrazu z prvku CCD (Charge Coupled Device) přímo v jednotce kamery. Tím se též výrazně zlepšila kvalita obrazu a odolnost proti rušivým vlivům, kterým jsou data vystavena na cestě mezi kamerou a řídicí jednotkou.





### 3.7.2 Funkce kamerového systému CV-2100

Mezi základní funkce, které má uživatel k dispozici, patří měření plochy, úhlu nebo šířky, vyhledávání vzoru (i vícenásobně), detekce hran a určování jejich počtu, detekce vad, změny okrajů nebo šířky nebo měření intenzity. Kromě toho lze pomocí kamery na obr. 3. 11 určovat počet objektů a měřit jejich obecné charakteristiky.



Obr 3.11 Kamera Keyence

Díky devítiúrovňovému nastavení citlivosti je možné používat tyto funkce i za nepříznivých světelných podmínek. Velmi precizní nastavení citlivosti zaručuje dostatečný jas, i když je použita velmi rychlá uzávěrka. Díky tomu není nutné používat velmi intenzivní osvětlení, což snižuje pořizovací náklady.

Na jednotlivá měření lze aplikovat sadu osmi filtrů (i vícenásobně), které umožní předzpracovat obraz a vylepšit ostrost obrazu, zvýraznit detaily, hrany apod. Technologie ASIC umožňuje extrémně rychle vyhledávat objekty, které jsou natočeny o úhly v rozsahu 0° až 360° (využívá se normalizovaná korelace, která je stabilní i v nedostatečných světelných podmínkách a umožňuje podstatně zkrátit vyhledávací čas až na 33ms).

Dalším významným vylepšením oproti předcházejícím modelům řady CV je zavedení nástrojů pro výpočty. Velmi jednoduchým způsobem lze vytvořit vzorec



použitím aritmetických, trigonometrických a logických funkcí. Výsledek výpočtu může být zahrnut do celkového výsledku detekce a lze ho efektivně zobrazit na obrazovce (funkce umožňující vytvoření vlastní obrazovky) tak, aby byl údaj k dispozici obsluze.

Významnou funkcí, kterou konstruktéři společnosti Keyence implementovali do nového kamerového systému, je stabilizace dat vícenásobným snímáním obrazu. Při aktivaci funkce jsou na jedno spuštění provedeny dvě nebo více sejmutí obrazu (max.32). Pokud je obraz nejasný vlivem vnějších podmínek, nebo vibrací způsobených provozem, vypočítá řídicí jednotka ze získaných hodnot průměr, maximum a minimum, čímž se měření zpřesní.

Kamerový systém CV-2100 umožňuje uložit do paměti až 54 obrázků (a to v průběhu zpracovávání a bez nároku na prodloužení času zpracování) s datem, časem pořízení a pořadovým číslem. Tato funkce je velmi užitečná při kontrole historie obrázků chybných výrobků. V případě použití paměťové karty se kapacita zvětšuje řádově na stovky obrázků.

Kamerový systém CV-2100 lze použít všude, kde je prováděna vizuální kontrola kompletnosti výrobků, nebo kde je potřeba kontrolovat nějaký rozměr. Mezi hlavní oblasti použití patří:

- vyhledávání vzorů (např. měření polohy a úhlu značek na deskách plošných spojů),
- měření vzdáleností (např. polohy jednotlivých pinů, jejich počet),
- kontrola polohy hran (např. měření úhlů a natočení objektů).

### **3.7.3 Statistika**

Novinkou v kamerovém systému CV-2100 je analýza naměřených dat. Jako první ve své třídě umožňuje CV-2100 využívat statistické funkce. Pomocí nástroje pro analýzu dat má uživatel možnost stanovit maximální a minimální hodnotu, průměrnou hodnotu a střední kvadratickou odchylku. Data lze zobrazit ve formě číselných údajů, sloupcových grafů, nebo trendových diagramů. Díky této analýze je možné velmi přehledně sledovat údaje, které lze s výhodou použít k optimalizaci nastavení tolerancí, což umožňuje jednoduché odhalení vadných kusů. Měřená data lze pomocí



komunikačního softwaru exportovat do souboru Microsoft Excel a následně využít pro další zpracování.

### **3.7.4 Vstupně výstupní rozhraní**

Kamerový systém CV-2100 disponuje několika komunikačními kanály. Základním prostředkem ke komunikaci s okolním prostředím je v/v terminál. Na něm jsou vyvedeny signály určené pro komunikaci s PLC nebo jinými systémy pro průmyslové řízení. Další možností komunikace je použití paralelního portu, kde jsou k dispozici stavy jednotlivých výstupů, naměřená data a další signály.

Pro komunikaci s PC nebo jinými zařízeními disponující možností přenosu dat pomocí sériové linky je v kamerovém systému CV-2100 implementován komunikační protokol pro komunikaci po lince RS-232C. Parametry přenosu lze zvolit ve velmi přehledné nabídce (menu) systému CV-2100.

Novinkou kamerového systému CV-2100 je komunikace prostřednictvím sítě Ethernet, pro kterou jsou k dispozici stejné prostředky jako pro linku RS-232C. Prostřednictvím sítě Ethernet lze nejenom sledovat jednotlivé měřené hodnoty, ale také přenášet obrázky. Další významnou výhodou je možnost zapojení více kamerových systémů do sítě. Pro ukládání dat je systém CV-2100 vybaven paměťovou kartou s kapacitou až 256 MB.

## **3.8 Kriteria volby průmyslové kamery**

Na správné volbě kamerového systému závisí celý výsledek inspekčního procesu. Je-li zvolena špatná kamera, nebo je-li umístěna nesprávně či snímá nesprávnou scénu, nemůže být požadovaný výsledek dosažitelný. Proto je třeba volbě správného typu kamery věnovat zvýšenou pozornost. Tento výběr se odvíjí od několika aspektů.



### *1. Samotný charakter automatizované úlohy*

Obecně existuje několik přístupů jak v průmyslových automatizovaných systémech realizovat spolupráci kamery a robotických, nebo jiných řídicích systémů. Je to buď statické umístění jedné kamery nad snímanou scénou, nebo použití více kamer v různých úhlech, nebo umístění kamery přímo na robota. Řídicí systém si pak skládá potřebné informace. Další možností je i technické řešení, využívající jednu kameru, před kterou je umístěna zrcadlová plocha natačená např. krokovými motory tak, aby se do objektivu kamery odrazila požadovaná scéna. Existuje však i možnost jejího upevnění přímo na pohyblivém rameni robotu jak bylo uvedeno výše a příklad této aplikace je také v diplomové práci uveden ve variantě D.

### *2. Velikost plochy snímané scény*

Při pozicování přířezů skel ve firmě AGC Automotive prochází přířez celým procesem opracování a dále je transportován pásovým dopravníkem o šířce pásu 800 mm. Od tohoto rozměru se také odvíjí minimální velikost plochy snímané scény. Tato plocha nesmí být také o moc větší, aby bylo maximálně využito rozlišení kamery na oblast scény, která je nejdůležitější (šířka pásu). Zpracování obrazu v místech, které nejsou podstatná (např. okolí pásového dopravníku), je tedy velice neefektivní.

### *3. Volba kamery s dostačujícím rozlišením*

Jelikož velikost přířezů skel umístěných na pásovém dopravníku je poměrně velká a jedná se o transparentní materiál, je nutné pro dosažení požadované přesnosti použít kameru s rozlišením minimálně 1024 x 768 pixelů. Při tomto rozlišení velikosti plochy snímané scény o rozměru 800 mm je tak dosažena přesnost téměř 1mm.

### *4. Volba správné výšky umístění kamery*

Protože je velikost snímané scény poměrně velká (v praxi se většinou využívá snímání daleko menších scén), je nutné kameru umístit poměrně vysoko nad pásový dopravník. Výrazně je tak snížena tzv. paralaktická chyba. Tato chyba se projevuje nekorektním umístěním objektu v obraze vzhledem k reálnému stavu. Další vlastností, která je závislá na výšce upevnění kamery nad snímanou scénou je také schopnost vyhodnocovat natočení přířezů skel na pásovém dopravníku. Tento výše uvedený



faktor nutí umístit kameru co nejvýše jak je to možné, s ohledem na velikost snímané scény, rozlišení kamery a možného konstrukčního upevnění. Dostačující vzdálenost pro částečnou kompenzaci tohoto nežádoucího vlivu by měla být 2 - 3 metry. Proto byla zvolena vzdálenost 2,5 m. Na všech těchto aspektech závisí konečné stanovisko při výběru vhodného typu kamery. Po zohlednění všech kritérií byl vybrán průmyslový CCD kamerový systém Keyence CV- 2100. Jedná se o kameru střední třídy s rozlišením 2 megapixely, která snímá celou pracovní scénu v reálných barvách, jedná se tedy o provedení kamery color .

### **3.9 Volba vhodného nasvícení snímané scény**

Kritéria pro volbu správného typu osvětlení byly uvedeny v kapitole 3.6.4. Jelikož se v této aplikaci jedná o snímání poměrně velké plochy scény, je nutné použít plošný zdroj světla, který bude pokud možno co nejpřesněji osvětlovat snímanou scénu. V uvažovaných rozměrech toto prakticky nelze realizovat jinak, než použitím průmyslových zářivkových svítidel. Dalším faktem, který je třeba brát v úvahu při realizaci této aplikace je, že linka Bystronic 4 bude sloužit pro široký sortiment přířezů skel, které firma AGC Automotive dodává. Tyto typy se liší svými rozměry. Pro získání kvalitního snímku, ze kterého je možné bezchybně zpracovat požadované informace, je nutné nasvítit daný typ přířezu vždy ze stejného úhlu a výšky. Proto je nutné použít např. zářivkové panelové svítidla o několika trubicích po obou stranách rámu kamery a v těchto panelech spínat vždy pouze jednu, dvě či několik trubic v takové výšce, která je vhodná pro korektní nasvícení scény. Pro danou aplikaci, bude nejvhodnější boční osvětlení, protože se toto osvětlení už na jedné lince v AGC Automotive osvědčilo.

### **3.10 Sjedení souřadnic robotu a obrazu**

Přímý vstup poloh, nebo vzdáleností zjištěných zpracováním obrazu do řídicího systému robotu vyžaduje, aby byl systém souřadnic, ve kterém jsou tyto údaje předávány, identický se systémem souřadnic, který používá robot. Prakticky nikdy však není možné orientovat kameru tak, aby byly její souřadnice se souřadnicemi robotu totožné. Obraz je natočen, zkreslen perspektivou, mohou se uplatnit i chyby objektivu, snímání čipu kamery a další rušivé vlivy. Sjedení systému souřadnic spočívá v transformaci souřadnic pohledu kamery na souřadnice robotu. Současně je prováděna i kalibrace měření vzdáleností. Kamery řady Keyence mají transformaci souřadnic zabudovanou ve svém firmwaru a není nutné zatěžovat řídicí systém robotu žádnými



pomocnými výpočty. Koeficienty pro transformační rovnice jsou získávány kalibrací přímo v reálné aplikaci. Kalibrace je součástí vývojového systému a spočívá v sejmutí speciálního obrazce, tzv. kalibrační mřížky. Pokud se použije mřížka DVT, jsou transformační koeficienty vypočteny zcela automaticky. V případě použití jiné mřížky je třeba její parametry zadat. Po skončené kalibraci jsou všechny pozice, vzdálenosti a úhly přepočteny transformačními rovnicemi do „reálných“ souřadnic, které jsou i souřadnicemi používanými robotem. Transformace souřadnic platí jen pro definovanou polohu kamery a snímané scény. Aby bylo možné využít flexibility poskytované využitím strojového vidění, je nutné změnit koeficienty transformačních rovnic při každém přesunu kamery do nové polohy. K tomu lze využít pojmenovanou posloupnost softsenzorů, která řeší samostatnou úlohu a nazývá se *product*. *Product* může zahrnovat i vlastní koeficienty transformace souřadnic, hodí se tedy velmi dobře k tomu, aby řešil úlohu strojového vidění v dané poloze kamery. Přepínání lze řešit pomocí programového skriptu, nebo na základě hardwarových signálů.

### 3.11 Popis vytvořeného inspekčního procesu

Jak už bylo uvedeno, je celý inspekční proces vyhodnocování souřadnic složen z několika částí. Na jakýkoli obraz je aplikována skupina softsenzorů, jejichž parametrizace se liší pro každý typ přířezu. Skupina rozdílně parametrizovaných softsenzorů se pak nazývá *product*. Každý *product* má své identifikační číslo ID. Pomocí tohoto ID je před začátkem vlastní inspekce, na základě předchozí znalosti typu přířezu nacházející se na pásovém dopravníku, vybrán konkrétní *product*. Kompletní skupinu *productů* pak v sobě zahrnuje tzv. systém. Ten je při dokončení inspekční aplikace nutné nahrát do paměti kamery. V této aplikaci se však bude vyskytovat ještě jeden typ *productu* zcela odlišný od skupiny *productů* určených pro vyhledávání souřadnic a natočení snímaného přířezu. Tento *product* z ID0 je určen pro transformaci získaných souřadnic, které budou mít rozměr v pixelech na tzv. Real World což jsou souřadnice robotu.

### 3.12 Popis části inspekční aplikace pro vyhledávání souřadnic

Softsenzory aplikované na snímaný obraz (obrazové filtry) jsou pro tento typ aplikace založeny na principu vyhledávání spojitých oblastí v obraze (blobs) a jejich následným výběrem podle zadaných parametrů. Tyto spojitě oblasti v obraze mohou být detekovány aplikací různých obrazových filtrů, jako je prahování, detekce hran,



adaptivní filtr apod. Je možné definovat vyhledávání těchto oblastí na základě intenzity. Následná selekce těchto oblastí je definována parametry jako je velikost, intenzita jasu, kompaktnost, excentricita apod. Pro určení souřadnic přířezů je vhodné vyhledávat hrany celého přířezu ležícího na pásu.

### **3.13 Popis části inspekční aplikace pro konverzi souřadnic**

V této části je popsána realizace transformace souřadnic získaných předešlými postupy do tzv. Real World, což jsou souřadnice robotu. Pro tuto konverzi souřadnic jsou ve vývojovém systému implementovány funkce (softsensory), které toto realizují. Celá tato kalibrace je realizována jako samostatný produkt s ID0, který je aplikován při kalibraci výrobní linky, tedy před spuštěním jejího provozu a pak vždy při případné údržbě či změnách parametrů výrobní linky. Celý tento systém konverze a kalibrace je založen na nalezení několika referenčních značek (kolíčky v podlaze, nebo barevné značky) v zorném poli kamery a to musí být na pevné nepohyblivé podložce. Musí se také definovat jedna zvláštní referenční značka pro nalezení počátku souřadnicového systému. Do této výchozí pozice bude kalibrován i samotný robot, tím pádem použitá značka bude jeho tzv. „Home Position (domácí poloha)“. Tímto způsobem bude vždy ošetřeno, že robotická paže po dosažení zadaných souřadnic bude ve stejné pozici, kterou zaslala kamera. Pokud nenastane chyba během zpracování obrazu a zjištěné souřadnice odpovídají fyzickému stavu, je tímto prakticky vyloučena nežádoucí situace, kdyby se robot s úchopnou hlavicí nenajel na střed přířezu.

### **3.14 Popis části inspekční aplikace pro komunikaci s PLC**

Komunikace mezi kamerou a řídicím systémem PLC, je realizována v pomocném systému. V tomto skriptu je vytvořena nekonečná smyčka pro navázání komunikace a následný přenos získaných souřadnic do PLC a řídicích dat z PLC do kamery. Pomocí protokolu TCP/IP. TCP/IP je Transmission Control Protocol/Internet Protocol (česky primární transportní protokol - TCP/protokol síťové vrstvy - IP) je vytvořena komunikace typu klient – server mezi kamerou a řídicím PLC. Kamera je v tomto případě server, tedy aplikace, která čeká na navázání spojení a PLC je klient, který spojení navazuje. V následující části textu jsou popsány hlavní body tohoto background skriptu, který realizuje TCP/IP komunikaci ze strany kamery:



- a) *snímat obrazovou scénu (dopravní pás)*
- b) *vyhodnocovat snímanou scénu (získávat souřadnice a natočení přířezů skel)*
- c) *detekovat typ přířezu skla, který je transportován pásovým dopravníkem*
- d) *řídit pásový dopravník (posunovat přířezy do požadované polohy)*
- e) *řídit robot s úchopnou hlavici*
- f) *indikovat procesní stavy (fázi procesu plnění palet, start, stop...)*
- g) *fáze vyjetí nebo zajetí pohybové periferie*
- h) *vyhodnocovat chybové a mezní stavy (alarmy, události...)*
- i) *ukládat procesní data do databází*
- j) *zajišťovat bezpečnostní funkce (EMERGENCY STOP)*

Základním požadavkem, od kterého se odvíjí celý princip řezací linky Bystronic 4, je schopnost řídicího systému řídit robota ve více osách. Jelikož v této aplikaci bude použit robot od firmy KUKA s rozhraním PROFIBUS, je tedy nutné vybrat řídicí systém se stejným rozhraním. Tento řídicí systém musí však být schopen na této sběrnici pracovat jako Master. Proto byl zvolen PLC S7-300. Dále je nutné, podle ostatních požadavků, vybrat vhodný typ CPU. Neopomenutelné jsou i celkové finanční náklady na realizaci vybraného řešení. Proto je nutné volit určitý kompromis a vhodný poměr ceny a výkonu. Z tohoto důvodu, byla vybrána CPU 314C-2DP. Jedná se o kompaktní PLC, které v jednom celku zahrnuje již základní rozhraní a analogové a digitální výstupy. Tento kompaktní CPU je dále rozšířen o komunikační procesor CP 343-1 Lean pro připojení na komunikační síť Ethernet. Takto zvolená HW konfigurace řídicího systému se provádí v prostředí SIMATIC STEP7 Manager. Jelikož je celý řídicí systém založený na komponentech firmy Siemens s.r.o., popřípadě komponentech kompatibilních (KUKA robot), je pro vytvoření řídicí aplikace použito vývojové prostředí SIMATIC STEP7 Manager. V tomto nástroji je vytvořena celá HW konfigurace a řídicí aplikace PLC S7-300.





### 3.15 Popis funkce kompletního programu

Po spuštění linky Bystronic 4 program testuje, je-li linka volná a následně řídící systém spouští pásový dopravník na pozici přířezu pod CCD kameru. Následně se sejme obraz polohy přířezu skla na pásu, zdali je přířez v korektní poloze a pokud ano, spouští zpracování obrazu. V této fázi je kamerou zachycen snímek z pásu, z něhož jsou vyhodnoceny konkrétní souřadnice a natočení přířezu skla. Pokud je výsledek inspekce úspěšný, přechází program do stavu transportu přířezu skla do palety, kdy získané souřadnice v cyklu PLC zasílá robotu a ten provádí plnění jednotlivých palet přířezů. Pokud při plnění palety nastane chyba, kdy robot nepřesně najede do připravené palety, je okamžitě celý běh programu pozastaven a program čeká na zásah operátora linky. Ten může celý proces znovu spustit tak, že se znovu provede zpracování obrazu a proces transportu se může opakovat, nebo může celý proces zastavit pomocí tzv. Software Total Stop. V případě, že tato chyba nastala v okamžiku, kdy už byl určitý počet přířezů skel do palety transportován, řídící systém si uloží index souřadnic, při kterých došlo k chybě a při opětovném spuštění linky robot začne plnit paletu přířezů od doby zastavení linky. Jestliže k této chybě dojde, je to chyba kritická a operátor musí ověřit, zda nedošlo např. k poškození hlavice robotu, nebo dopravníkového pásu. Program pohybu robotu by měl být navržen tak, aby se v těsné blízkosti uchopení přířezu skla hlavicí nepohyboval příliš rychle a nemohlo tedy dojít k jeho závažnému poškození vlivem případného nárazu. Pro samotné plnění palety robotem je uvažována koncepce, kde robot bude mít na hrotu chapadla koncový spínač, detekující přiblížení úchopné hlavice k přířezu skla. Ta zaručí, že robot přířez skla nepoškodí. Tento princip vyhodnocování souřadnic přířezu na pásu je použitelný i pro detekování kritické chyby, kdy se také vyhodnocuje sepnutí tohoto koncového spínače, ale jako chyba je to vyhodnoceno jen v okamžiku, kdy se robot ještě nenachází v cílových souřadnicích. Takto je zabráněno nárazu hlavice robotu mimo těžiště přířezu. Pokud je fáze přemístění přířezu úspěšně dokončena, přechází program do fáze, kdy přijede po pásovém dopravníku další přířez skla k detekci. Touto fází je jeden cyklus plnění jedné palety dokončen a linka přechází do stavu, kdy je volná a jedna pohybová periferie s paletou se vysune a je připravena k transportu za pomoci vysokozdvizného vozíku k dalším operacím. Aby se linka nemusela zastavovat, program se automaticky přepne do stavu manipulace volné periferie a celý proces se opakuje na druhou paletu.



## 4. Zhodnocení přínosů práce

Navržené řešení umožňuje bezkolizní automatizaci celého procesu manipulace s přířezy skla na lince Bystronic 4. Na lince jsou odstraněny mechanické dorazy, které nahradil optický systém CCD kamery.

### 4.1 Technické hodnocení

V souladu se zadáním byly navrženy různé varianty, z nichž byla na základě rozhodovací analýzy zvolena varianta zavěšeného robotu KUKA. Nově navržené robotizované pracoviště je schopno zajistit kompletní proces manipulace a tím eliminovat riziko poškození přířezů skel. Pomocí CCD kamery, která nahradila mechanické dorazy polohování skel, probíhá proces automaticky pomocí rozpoznání souřadnic a natočení přířezu skla na pásovém dopravníku. Za pomoci CCD kamery je možno odstranit všechny nedostatky současného stavu a eliminovat riziko poškození přířezů skel. Nová koncepce pracoviště splňuje časové nároky na manipulační proces, vycházející z časového taktu linky Bystronic 4.

### 4.2 Ekonomické hodnocení

Celkové náklady na přestavbu manipulačního pracoviště byly vyčísleny na 1.435 000 Kč.

*Tabulka 2.3 Pořizovací náklady nového robotizovaného pracoviště pro manipulaci*

Položka	Cena
Robot Kuka KR 30 L16	740 000
Systém robot – vision KEYENCE	400 000
Úchopná hlavice	20 000
Rám robotu	50 000
Systém komunikace PLC, PC, frekvenční měnič	130 000
Pásový dopravník	25 000
Motory s převodovkou a kuličkové šrouby	50 000
Náklady spojené s realizací pracoviště	20 000
Celkem	1. 435 000



a) současný stav:

počet pracovníků na jednu směnu	$P_p = 2$
celkový počet pracovníků (3 směny)	$P = P_p \cdot 3 = 6$
Na jednoho pracovníka připadá:	
hrubá měsíční mzda operátora	$H_m = 15 \text{ tis. Kč}$
měsíční mzdové náklady operátora	$M_m = H_m \cdot 1,35 = 20.250 \text{ Kč}$
roční mzdové náklady operátora	$R_m = M_m \cdot 12 = 240.000 \text{ Kč}$
 mzdové náklady pro celé pracoviště	 $Z_c = R_m \cdot P = 1.458.000 \text{ Kč}$

b) náklady na zajištění bezkolizní robotizované manipulace s přířezem skla (viz tab. 2.3):

Po zavedení bezkolizní lokalizace přířezu skla, může být na jednu směnu jeden zaměstnanec linky.

- mzdové náklady 3 zaměstnanců  $729.000 \text{ Kč / rok}$

Celkové jednorázové náklady na realizaci:  $C_n = 1.435 \text{ tis. Kč}$

uspořené výdaje  $C_{UV} = 706.000 \text{ Kč}$

c) návratnost investice na realizaci zařízení: 
$$N_i = \frac{C_n}{C_{UV}} = \frac{1.435.000}{706.000} = 2,03 \text{ roku}$$

Doba návratnosti přestavby linky je tedy 2 roky a cca 11 dní.



## Závěr

V souladu se zadáním diplomové práce byla postupně vytvořena koncepce řešení manipulace s přířezy skla na konci linky Bystronic 4. V konstrukčních návrzích bylo provedeno konstrukční řešení pásového dopravníku a úchopné hlavice robotu pro manipulaci s přířezy skla. Byl také navržen rám pro zavěšení robotu.

Při návrhu robotizované manipulace s přířezy byly podrobně zhodnoceny vstupní podmínky vycházející ze stávajícího provozního uspořádání. Mezi hlavní požadavky při návrhu nového pracoviště bylo zajištění bezkolizní pozicování přířezů skel.

V souladu s těmito požadavky byly navrženy různé varianty, z nichž byla na základě rozhodovací analýzy zvolena varianta zavěšeného robotu KUKA. Robotizované pracoviště je schopno zajistit kompletní proces manipulace a nahradit stávající mechanické dorazy optickým systémem a tím odstranit nedostatky současného stavu. Vybraná varianta C je podrobně rozpracována ve třetí kapitole, kde je podrobně popsáno konstrukční řešení pásového dopravníku, úchopné hlavice a rámu pro zavěšení robotu. Výkresová dokumentace pásového dopravníku a úchopné hlavice, včetně rámu pro zavěšení robotu, je přiložena k diplomové práci. V kapitole je také navržen řídicí systém včetně návrhu CCD kamery a popis sloučení souřadnic robot - kamera s potřebnými softwarovými požadavky, které jsou nutné pro realizaci nového procesu manipulace.

Na závěr bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení navrženého layoutu.

Jsem přesvědčen, že robotizované pracoviště podle návrhu řešení v celém rozsahu splňuje podmínky zadání.



## **Seznam použité literatury**

- [1] KUKA: [online]. dostupný z [www <www.kuka.cz>](http://www.kuka.cz)
- [2] Vávra, P. a kol.: Strojnické tabulky, Albra, 2003
- [3] Stehlík, J. : Dopravníky, Liberec: TU v Liberci, 2004
- [4] Technické podklady a. s., AGC Automotive Czech, Chudeřice
- [5] FESTO: Katalog firmy [online]. dostupný z [www <www.festo.cz>](http://www.festo.cz)
- [6] SIEMENS: [online]. dostupný z [www <www.siemens.de>](http://www.siemens.de)
- [7] Keyence: [online]. dostupný z [www <www.keynce.de>](http://www.keynce.de)
- [8] ABB: [online]. dostupný z [www <www.abb.cz/robotic>](http://www.abb.cz/robotic)
- [9] SCHMALZ: [online]. dostupný z [www <www.marek.cz>](http://www.marek.cz)
- [10] ZIMM: [online]. dostupný z [www <www.zimm.at>](http://www.zimm.at)
- [11] SMC: [online]. dostupný z [www <www.smc.cz>](http://www.smc.cz)